



TESIS- RE142541

**FITOFORENSIK LOGAM BERAT Pb (TIMBAL) DAN  
Cd (KADMIUM) PADA TUMBUHAN AKUATIK  
JERUJU (*Acanthus ilicifolius*) DAN  
JALI (*Coix lacryma-jobi*) KOLEKSI  
KEBUN RAYA PURWODADI**

**RONY IRAWANTO  
3312201010**

**DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. SARWOKO MANGKOEDIHARDJO, M.ScES.**

**PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



THESIS - RE142541

**PHYTOFORENSIC OF HEAVY METAL  
(Pb AND Cd) ON AQUATIC PLANTS  
*Acanthus ilicifolius* AND *Coix lacryma-jobi*  
PURWODADI BOTANIC GARDEN COLLECTION**

**RONY IRAWANTO  
3312201010**

**SUPERVISOR  
Prof. Dr. Ir. SARWOKO MANGKOEDIHARDJO, M.ScES.**

**MASTER PROGRAM  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING  
INSTITUTE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**




**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**


**oleh :  
RONY IRAWANTO  
NRP. 3312201010**


**Tanggal Ujian : 8 Januari 2015  
Periode Wisuda : Maret 2015**

**Disetujui Oleh :**


  
**1. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES. (Pembimbing)  
NIP: 195408241984031001**

  
**2. Alia Damayanti, ST., MT. PhD. (Penguji)  
NIP: 197702092003122001**

  
**3. Bieby Voijant Tangahu, ST., MT. PhD. (Penguji)  
NIP: 197108181997032001**

  
**4. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD (Penguji)  
NIP: 197111142003122001**

**Direktur Program Pascasarjana,**

  
**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
NIP: 196404051990021001**



**Fitoforensik Logam Berat Pb (Timbal) dan Cd (Kadmium) Pada Tumbuhan  
Akuatik Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*) Koleksi  
Kebun Raya Purwodadi**

Nama Mahasiswa : Rony Irawanto

NRP : 3312201010

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES.

**ABSTRAK**

Perkembangan pembangunan mengakibatkan peningkatan aktivitas di berbagai sektor, baik sektor industri, pemukiman, pertanian, dan sektor lainnya. Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan seringkali menghasilkan bahan pencemar yang dapat mengganggu dan membahayakan lingkungan. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kematian. Logam berat yang bersifat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan, adalah Pb (timbal) dan Cd (kadmium). Konsep yang memusatkan peran tumbuhan dalam kerangka teknologi alami untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam fitoproteksi, fitoremediasi, fitomonitoring maupun fitoforensik pencemaran lingkungan. Pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak waktu kejadian dan target spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan. Penelitian fitoforensik masih belum banyak dilakukan. Sehingga penelitian ini bertujuan mengetahui jangka waktu dan lokasi spesifik pencemar logam berat Pb dan Cd dalam tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan jali (*Coix lacryma-jobi*).

Penelitian dilakukan secara bertahap mulai November 2013 sampai Desember 2014. Penelitian bertempat di *greenhouse* Teknik Lingkungan - ITS dengan menggunakan material tumbuhan koleksi Kebun Raya Purwodadi - LIPI. Pemilihan tumbuhan akuatik didasarkan pada kriteria: jenis asli setempat, ditemukan liar di alam, dan memungkinkan dalam perbanyakannya. Penelitian diawali dengan perbanyakan, aklimatisasi, dan penentuan RFT (*Range Finding Test*) untuk konsentrasi kematian. Kemudian penelitian utama berupa uji fitoforensik dengan konsentrasi paparan Pb sebesar 10000 ppm dan Cd 400 ppm. Variasi yang digunakan meliputi: (1) variasi zat pencemaran (Pb dan Cd), (2) variasi jenis tumbuhan (Jeruju dan Jali) dan (3) variasi jumlah tumbuhan (tiga dan lima individu) dalam reaktor. Reaktor berupa bak plastik kapasitas 10 L berdimensi 30x25x10 cm dengan dua ulangan (duplo). Parameter yang diamati berupa morfologi tumbuhan, berat kering tumbuhan dan konsentrasi logam pada bagian tumbuhan (akar, batang dan daun). Data yang diperoleh disajikan dalam tabel dan grafik. Metode analisis logam berat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).



Hasil perpindahan dan penyerapan logam Pb pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) 3 individu di akar 8.958 ppm, batang 33,5 ppm dan daun 27,7 ppm; pada 5 individu di akar 8.850 ppm, batang 119,6 ppm dan daun 44,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 237,2 ppm, batang 2,72 ppm dan daun 1,06 ppm, pada 5 individu di akar 147,2 ppm, batang 4,2 ppm dan daun 3,26 ppm. Sedangkan perpindahan dan penyerapan logam Pb pada tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali) 3 individu di akar 7.235 ppm, daun 250,7 ppm dan batang 149,2 ppm, pada 5 individu di akar 8.197 ppm, daun 274,5 ppm dan batang 242,8 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 174,9 ppm, daun 6,81ppm dan batang 4,32 ppm, pada 5 individu di akar 194,1 ppm, daun 18,1 ppm dan batang 2,93 ppm.

**Kata kunci:** Fitoforensik, Pb (Timbal), Cd (Kadmium), Jeruju (*Acanthus ilicifolius*), Jali (*Coix lacryma-jobi*), Kebun Raya Purwodadi.

## **Phytoforensic of Heavy Metals (Pb and Cd) on Aquatic Plants**

**(*Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi*)**

**Purwodadi Botanic Garden collection**

Student : Rony Irawanto

NRP : 3312201010

Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES.

### **ABSTRACT**

Growth of population and development resulted in increased activity in the various sectors, such as industrial, residential, agricultural, and other sectors. The increasing human activity in various sectors often produces some pollutants that can contaminate and harm the environment. Heavy metal is a serious pollutant, that can absorbed and accumulate in the human body. Its reduce human health and cause death. Heavy metals is toxic pollutants in all environmental, such as Pb (lead) and Cd (cadmium). The concept focus on the plants role in framework of natural technology to solve environmental problems known as Phytotechnology. Phytotechnology can be applied in phytoprotection, phytoremediation, phytomonitoring and phytoforensic for environmental pollution. Phytoforensic approach used to track time and specific targets of a pollutant into part of the plant. The phytoforensic research not much examined and still rarely. Therefore, this research aims to determine the duration and the specific location of heavy metal pollutant (Pb and Cd) in aquatic plants *Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi*.

The research has been carried out during November 2013 to December 2014. The study took place in a greenhouse Environmental Engineering - ITS with plant material from Purwodadi Purwodadi Botanic Garden - LIPI. Selection of aquatic plants is based on the following criteria: native species, wild in nature, and easy propagation. The premerly research begins with propagation seedling, acclimatization, and RFT (Range Finding Test) for the determination of letal concentration. Then the main research of phytoforensic with concentration of heavy metals Pb 10000 ppm and Cd 400 ppm. Variations used: three variations: (1) variation of heavy metal pollution substances (Pb and Cd), (2) variation of plant spesies (*Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi*) and (3) variation of plants specimen in the reactor (three and five specimen). Reactor form plastic capacity 10 L with dimension 30x25x10 cm and two replications (duplo). The parameters observed are plant morphology, dry weight and metal concentrations in the parts of plant (root, stem and leaves). The data obtained are presented in tables and graphs. Methods of analysis of heavy metals using AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer).

The results acumulation of Pb from *Acanthus ilicifolius* (jeruju/sea holly) in 3 specimen in roots, stems and leaves are 8,958 ppm, 33.5 ppm and 27.7 ppm; in 5 specimen in roots, stems and leaves are 8,850 ppm, 119.6 ppm and 44.5 ppm.

For Cd in 3 specimen in roots, stems and leaves are 237.2 ppm, 2.72 ppm and 1.06 ppm; in 5 specimen in roots, stems and leaves are 147.2 ppm, 4.2 ppm and 3.26 ppm. While the absorption of Pb from *Coix lacryma-jobi* (jali/job's tear) in 3 specimen in roots, leaves and stems are 7235 ppm, 149.2 ppm and 250.7 ppm, in 5 specimen in the roots, leaves and stems are 8,197 ppm, 274.5 ppm and 242,8 ppm. For Cd in 3 specimen in roots, leaves and stems are 174.9 ppm, 6,81ppm and 4.32 ppm; in 5 specimen in roots, leaves and stems are 194.1 ppm, 18.1 ppm and 2.93 ppm.

Keywords: Phytoforensic, Lead (Pb), Cadmium (Cd), *Acanthus ilicifolius* (sea-holly), *Coix lacryma-jobi* (job's tear), Purwodadi Botanic Garden.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya yang telah diberikan. Sehingga tesis yang berjudul **“Fitoforensik Logam Berat Pb (Timbal) dan Cd (Kadmium) pada Tumbuhan Akuatik Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*) koleksi Kebun Raya Purwodadi”** dapat terselesaikan dengan baik.

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademis yang harus ditempuh dalam Program Magister Teknik Lingkungan, FTSP – ITS Surabaya. Selama menyelesaikan tesis, penulis banyak mendapat dukungan, semangat dan bantuan baik secara moril maupun materiil, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES. selaku dosen pembimbing, sekaligus dosen wali dan Kepala Laboratorium SILFI (sanitasi lingkungan dan fitoteknologi) yang telah membimbing penulis.
  2. Dr. R. Hendrian, MSc. selaku Kepala Balai Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Purwodadi, sekaligus co-promotor Program Karyasiswa Kementerian Riset dan Teknologi yang telah memberikan arahan kepada penulis.
  3. Alia Damayanti, ST., MT., PhD. dan Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD. serta Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD. selaku dosen penguji atas arahan dan masukan guna menyempurnakan tesis ini.
  4. Orang tua dan keluarga tercinta, seluruh dosen dan karyawan TL, para staf peneliti dan teknisi KRP, serta semua teman, rekan dan kolega yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
  5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bantuannya.
- Penulis menyadari tesis ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karenanya saran dan kritik membangun yang dapat membuat hasil tesis ini menjadi lebih baik sangat diharapkan oleh penulis.

Demikian tesis ini telah disusun oleh penulis, semoga memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, 30 Januari 2015

Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>v</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>ix</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Bab 1 Pendahuluan.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
<b>Bab 2 Kajian Pustaka .....</b>	<b>5</b>
2.1 Fitoteknologi.....	5
2.2 Fitoremediasi.....	6
2.3 Fitoforensik.....	7
2.4 Logam Berat.....	8
2.5 Koleksi Tumbuhan Kebun.....	10
2.6 Review Penelitian Terdahulu.....	14
<b>Bab 3 Metode Penelitian.....</b>	<b>15</b>
3.1 Deskripsi Umum .....	15
3.2 Lokasi Penelitian.....	15
3.3 Kerangka Penelitian .....	15
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	18
3.5 Variabel Penelitian .....	19

3.6	Tahap Penelitian .....	20
3.7	Analisis Data .....	22
<b>Bab 4 Hasil dan Pembahasan .....</b>		<b>23</b>
4.1	Penelitian Pendahuluan.....	23
4.2	Penelitian Utama .....	31
4.3	Pembahasan Hasil.....	45
<b>Bab 5 Kesimpulan dan Saran .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
Lampiran 1. Prosedur Pengukuran.....		59
Lampiran 2. Hasil Pengamatan Suhu dan Kelembaban.....		61
Lampiran 3. Hasil Pengamatan Morfologi Tumbuhan .....		67
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Berat Tumbuhan .....		79
Lampiran 5. Hasil Pengujian Laboratorium.....		85
Lampiran 6. Data Analisa Laboratorium .....		89
Lampiran 7. Berita Acara Tesis .....		123
Lampiran 8. Foto-foto Kegiatan Tesis .....		127
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>133</b>
Kumpulan Abstrak Publikasi .....		135

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pengelompokan Tumbuhan Akuatik.....	10
Gambar 2.2.	Tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (koleksi hidup dan ilustrasi) .....	12
Gambar 2.3.	Tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i> (koleksi hidup dan ilustrasi) .....	13
Gambar 3.1.	Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	16
Gambar 3.2.	Reaktor Penelitian.....	17
Gambar 4.1.	Hasil perbanyakan tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (A) (A.1 stek batang, A.2 bak semai, A.3 bibit jeruju umur 3 bulan) dan <i>Coix lacryma-jobi</i> (B) (B.1 biji, B.2 bak semai, B.3 bibit jali umur 1,5 bulan).....	23
Gambar 4.2.	Aklimatisasi tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (A) (A.1 bibit transplanting, A.2 bibit pada uji RFT, A.3 bibit pada uji Fitoforensik) dan <i>Coix lacryma-jobi</i> (B) (B.1 bibit transplanting, B.2 bibit pada uji RFT, B.3 bibit pada uji Fitoforensik).....	25
Gambar 4.3.	Perubahan morfologi daun tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (A) dan <i>Coix lacryma-jobi</i> (B).....	29
Gambar 4.4.	Suhu dan Kelembaban selama penelitian 11 bulan di <i>greenhouse</i> .....	32
Gambar 4.5.	Pertambahan tinggi Jeruju ( <i>Acanthus ilicifolius</i> ) pada Pb dan Cd .....	33
Gambar 4.6.	Pertambahan tinggi Jali ( <i>Coix lacryma-jobi</i> ) pada Pb dan Cd .....	34
Gambar 4.7.	Ciri tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> terpapar logam (Pb dan Cd).....	35
Gambar 4.8.	Ciri tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i> terpapar logam (Pb dan Cd).....	35

Gambar 4.9. Berat tumbuhan Jeruju ( <i>Acanthus ilicifolius</i> ) pada paparan Pb dan Cd untuk 3 dan 5 individu.....	36
Gambar 4.10. Berat tumbuhan Jali ( <i>Coix lacryma-jobi</i> ) pada paparan Pb dan Cd untuk 3 dan 5 individu.....	37
Gambar 4.11. Akumulasi logam Pb pada bagian akar, batang dan daun tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (jeruju).....	39
Gambar 4.12. Akumulasi logam Cd pada bagian akar, batang dan daun tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i> (jeruju).....	39
Gambar 4.13. Akumulasi logam Pb pada bagian akar, batang dan daun tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i> (jali) .....	41
Gambar 4.14. Akumulasi logam Cd pada bagian akar, batang dan daun tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i> (jali) .....	41
Gambar 4.15. Prosentase akumulasi logam Pb dan Cd pada <i>Acanthus ilicifolius</i> (jeruju) .....	42
Gambar 4.16. Prosentase akumulasi logam Pb dan Cd pada <i>Coix lacryma-jobi</i> (jali) .....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Tumbuhan Akuatik Koleksi Kebun Raya Purwodadi .....	10
Tabel 4.1. Konsentrasi Pemaparan Logam Pb dan Cd pada Kedua Jenis Tumbuhan.....	27
Tabel 4.2. Perubahan Warna Daun selama RFT pada Kedua Tumbuhan ( <i>Acanthus ilicifolius</i> dan <i>Coix lacryma- jobi</i> ) berdasarkan waktu pengamatan .....	28
Tabel 4.3. Jumlah Daun dan Tinggi Tumbuhan dalam RFT2 Kedua Jenis .....	30
Tabel 4.4. Kandungan Logam pada Tumbuhan Jeruju ( <i>Acanthus ilicifolius</i> ).....	38
Tabel 4.5. Kandungan Logam pada Tumbuhan Jali ( <i>Coix lacryma-jobi</i> ).....	40
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan TF Pada Tumbuhan.....	46
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan BCF pada Tumbuhan .....	47



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN**

Lampiran 1. Prosedur Pengukuran .....	59
Lampiran 2. Hasil Pengamatan Suhu dan Kelembaban.....	61
Lampiran 3. Hasil Pengamatan Morfologi Tumbuhan .....	67
Lampiran 4. Hasil Pengukuran Berat Tumbuhan .....	79
Lampiran 5. Hasil Pengujian Laboratorium.....	85
Lampiran 6. Data Analisa Laboratorium .....	89
Lampiran 7. Berita Acara Tesis.....	123
Lampiran 8. Foto-foto Kegiatan Tesis .....	127

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan pembangunan mengakibatkan peningkatan aktivitas di berbagai sektor, baik sektor industri, pemukiman, pertanian, dan sektor lainnya. Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan seringkali menghasilkan limbah bahan pencemar yang dapat mengganggu dan membahayakan lingkungan. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan (Widowati dkk., 2008) dan pada beberapa kasus menyebabkan kematian. Logam berat dapat terakumulasi di lingkungan dan berpindah dari satu media ke media lainnya (Wang dkk., 2009). Sehingga logam berat merupakan pencemar di semua media lingkungan (*multi media pollutant*). Logam berat yang sama sekali tidak dibutuhkan oleh makhluk hidup karena bersifat toksik adalah Pb (timbal), dan Cd (kadmium). Pb dan Cd memiliki penyebaran yang luas dan penyebab utama pencemaran lingkungan serta gangguan kesehatan (Darmono, 1995).

Konsep yang memusatkan peran tumbuhan dalam kerangka teknologi alami untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam fitoproteksi, fitoremediasi, fitomonitoring maupun fitoforensik terhadap pencemaran lingkungan. Dalam fitoremediasi terdapat proses penyerapan, pengambilan, pengubahan dan pelepasan zat pencemar oleh tumbuhan. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan dalam upaya pemulihan lingkungan. Dimana tumbuhan dapat mengubah zat kontaminan (pencemar / polutan) menjadi berkurang kadarnya, atau menjadi tidak berbahaya, atau bahkan menjadi bahan yang dapat digunakan kembali (*re-use*) oleh tumbuhan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Sedangkan fitoforensik digunakan untuk mengetahui keberadaan zat pencemar dalam tumbuhan dan menentukan waktu kejadian zat pencemar terjadi. Pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak waktu kejadian dan target

spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan. Dimana tumbuhan berperan sebagai sampel pasif, terhadap perpindahan zat dari lingkungan sekitarnya. Sehingga tumbuhan menjadi indikator pencemaran lingkungan. Metode fitoscreening, fitomonitoring dan dendrokimiawi adalah pendekatan dalam fitoforensik. Metode fitoforensik ini merupakan cara baru yang cepat, murah dan ramah lingkungan dalam penyelidikan pencemaran lingkungan menggunakan tumbuhan (Burken dkk., 2011).

Salah satu lembaga yang terkait dengan tumbuhan adalah kebun raya. Kebun raya didefinisikan sebagai kawasan konservasi tumbuhan secara *ex-situ* yang memiliki koleksi tumbuhan terdokumentasi dan ditata berdasarkan pola klasifikasi taksonomi, bioregion, tematik atau kombinasi dari pola-pola tersebut untuk tujuan kegiatan konservasi, penelitian, pendidikan, wisata, dan jasa lingkungan (Perpres 93/2011). Dimana karakteristik utama suatu kebun raya adalah tersedianya koleksi tumbuhan yang terdokumentasi, dilengkapi dengan biji dan herbarium sebagai koleksi penunjang (Irawanto, 2013<sup>a</sup>). Tumbuhan yang sudah ditanam dan menjadi koleksi di Kebun Raya Purwodadi saat ini sejumlah 11.748 spesimen, 1.925 jenis, 928 marga dan 175 suku (Lestarini dkk., 2012). Tumbuhan koleksi tersebut didata dan dimanfaatkan untuk tujuan konservasi, penelitian, dan pendidikan. Oleh karena itu upaya pemanfaatan keanekaragaman tumbuhan koleksi khususnya tumbuhan akuatik, dalam penyelesaian / penyelidikan permasalahan lingkungan menarik dilakukan dan sangat sejalan dengan tujuan konservasi tumbuhan di kebun raya.

Tumbuhan akuatik koleksi Kebun Raya Purwodadi saat ini sejumlah 15 jenis (Irawanto, 2013<sup>b</sup>). Dimana pemilihan jenis tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan jali (*Coix lacryma-jobi*) didasarkan pada kriteria: jenis lokal/setempat, ditemukan liar di alam dan memungkinkan dalam perbanyakannya. Tumbuhan akuatik yang berasal dari jenis lokal merupakan pilihan utama (UNEP, 2003; Ludwig, 2007). Kedua jenis tersebut termasuk kelompok tumbuhan akuatik *emerged* dimana tumbuhan muncul di atas permukaan air namun akarnya berada dalam sedimen. Selain itu tumbuhan tersebut termasuk jenis baru dalam pemanfaatan fitoteknologi, karena belum pernah dilakukan penelitian dan belum ada referensi sebelumnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penelitian ini menggunakan logam berat yang merupakan pencemar pada semua media dengan penyebaran yang luas, bersifat toksik dan mengganggu kesehatan bahkan penyebab kematian. Dimana pendekatan fitoforensik digunakan dalam melacak waktu kejadian dan target spesifik suatu pencemar masuk dalam tumbuhan sampai menyebabkan kematian. Sedangkan penelitian fitoforensik belum banyak dilakukan. Masalah utama dalam penelitian ini adalah mengetahui fitoforensik logam berat Pb dan Cd pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Sehingga tujuan utama dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan jangka waktu dan lokasi spesifik pada bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) terhadap logam berat Pb (timbal) dan Cd (kadmim) pada tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan jali (*Coix lacryma-jobi*).
2. Menganalisa adanya perbedaan penyerapan logam Pb dan Cd dalam jenis dan jumlah individu tumbuhan yang berbeda.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai:

- Akumulasi kandungan logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik.
- Target spesifik pada bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) yang terpapar logam berat (Pb dan Cd).
- Jangka waktu penyerapan dan pergerakan pencemar logam berat (Pb dan Cd) di dalam jaringan tumbuhan.
- Metode / cara baru yang lebih mudah dan murah untuk mengetahui suatu pencemaran di lingkungan berdasarkan sampel dalam jaringan tumbuhan.
- Hasil penelitian fitoforensik ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian fitoremediasi suatu pencemar maupun penelitian terkait fitoteknologi.

- Menambah khasanah ilmu pengetahuan terkait biodiversitas (keanekaragaman) tumbuhan (akuatik) dalam fitoteknologi lingkungan.

### 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah

- Penelitian berskala laboratorium, kebanyakan dilakukan di pembibitan Kebun Raya Purwodadi, rumah kaca Teknik Lingkungan dan analisa parameter di laboratorium ITS Surabaya (Lab. SILFI - Teknik Lingkungan; Lab. Pusat Studi PPLH - LPPM).
- Jenis tumbuhan akuatik yang digunakan sebagai uji adalah *Acanthus ilicifolius* (jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (jali) dari koleksi Kebun Raya Purwodadi.
- Penelitian menggunakan reaktor sistem *batch* dilakukan secara duplo (dua kali ulangan) untuk penelitian utama yaitu fitoforensik dan penelitian pendahuluan berupa RFT (*Range Finding Test*) dengan tiga kali ulangan.
- Variasi yang digunakan meliputi: (1) variasi zat pencemaran (Pb dan Cd), (2) variasi jenis tumbuhan (jeruju dan jali) dan (3) variasi jumlah tumbuhan dalam reaktor (tiga dan lima individu).
- Parameter yang diamati selama penelitian berupa morfologi tumbuhan, berat kering tumbuhan dan kandungan logam berat pada bagian tumbuhan serta pada media tanam.
- Sampel untuk analisis logam Pb dan Cd bersumber dari akar, batang dan daun tumbuhan yang digunakan serta tanah dan air dari media tanam.
- Reaktor yang digunakan berupa bak plastik kapasitas 10 Liter dengan panjang 30 cm, lebar 25 cm dan tinggi 10 cm. Reaktor sejumlah 58 reaktor, terdiri dari 48 reaktor uji dan 10 reaktor kontrol.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Fitoteknologi**

Fitoteknologi adalah penerapan ilmu dan teknologi untuk mengkaji dan menyiapkan solusi masalah lingkungan dengan menggunakan tumbuhan. Fitoteknologi digunakan untuk memperluas pengertian mengenai pentingnya tumbuhan dan peranannya dalam sistem kehidupan masyarakat dan lingkungan. Konsep fitoteknologi adalah memusatkan tumbuhan sebagai teknologi lingkungan hidup yang mampu menyelesaikan masalah lingkungan. Dalam tinjauan teknologi dan proses memperjelas fitoteknologi sebagai cara pendekatan berbasis alam dalam penyelesaian masalah lingkungan. Dimana keseimbangan teknologi antara proses buatan manusia dan proses alam tumbuhan, menjadi representasi bagaimana kedua proses mengatasi berbagai masalah lingkungan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Fitoteknologi didasari pada kajian transformasi efek zat dalam ekotoksikologi. Ekotoksikologi mempunyai kesamaan dengan toksikologi lingkungan dalam produk kajian berupa efek negatif zat terhadap makhluk hidup dan perlakuan hasilnya untuk pembatasan zat. Namun perbedaannya dalam metode paparan zat, ukuran zat, media pembawa zat dan objek makhluk hidup. Sehingga perlu disikapi efek negatif zat sebagai penjagaan kesehatan dan keberlanjutan kehidupan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2009).

Fitoteknologi melihat fitostruktur dan fitoproses sebagai teknologi alamiah dalam ekosistem. Sehingga Fitoteknologi dapat diterapkan dalam pencegahan (fitoproteksi), pemulihan (fitoremediasi), pemantauan (fitomonitoring) maupun penyelidikan (fitoforensik) pencemaran lingkungan. Juga dalam penerapan pengolahan air limbah, pengolahan air minum, pengolahan sampah, pemulihan lingkungan tercemar, serta manajemen pengendalian kualitas lingkungan.

## 2.2 Fitoremediasi

Teknik fitoremediasi telah banyak dikenal dan disebutkan di dalam berbagai literatur. Kata fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani *phyto* (tumbuhan), yang digabungkan dengan bahasa Latin *root remedium* (untuk memperbaiki atau menghilangkan sesuatu yang jahat) (Erakhrumen dan Agbontalor, 2007). Berbagai definisi tentang fitoremediasi telah diberikan oleh beberapa peneliti seperti yang tercantum di bawah ini:

- Penggunaan tumbuhan termasuk pohon dan rumput, untuk menghilangkan, merusak atau memisahkan pencemar berbahaya dari media seperti udara, air dan tanah (Prasad dan Freitas, 2003)
- Suatu teknologi yang menggunakan tumbuhan pengakumulasi logam yang dipilih dan direkayasa untuk memulihkan lingkungan (Liu dkk., 2000).
- Penggunaan tumbuhan untuk memulihkan tanah, lumpur, sedimen, air tanah, air permukaan dan air limbah yang tercemar oleh bahan kimia tercemar (Rodriguez dkk., 2005).
- Penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Kusrijadi dkk., 2013).

Secara umum, dari beberapa definisi di atas, dapat disimpulkan bahwa fitoremediasi adalah teknologi yang menggunakan tumbuhan tertentu untuk pemulihan kualitas lingkungan. Teknologi ini dapat dilakukan secara *in situ* atau *ex situ* (ITRC, 2001).

Syarat tumbuhan yang digunakan untuk fitoremediasi (UNEP, 2003), antara lain:

- Tumbuhan yang biasa ditanam di daerah tersebut / tumbuhan asli daerah tersebut.
- Tumbuhan yang mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan yang tercemar.
- Tumbuhan dengan jenis yang sukses untuk dilakukan monokultur.
- Tumbuhan yang memiliki umur panjang.
- Tumbuhan non pangan.

### 2.3 Fitoforensik

Tumbuhan sangat terkait erat dengan perpindahan zat dari lingkungan sekitarnya melalui jaringan makanan. Tumbuhan berinteraksi dengan lingkungan sehingga dalam biomassa tumbuhan terdapat akumulasi dan simpanan zat pencemar dari lingkungan. Dimana tumbuhan berperan sebagai sampel pasif. Saat ini telah dikembangkan metode analitik untuk mengetahui informasi tentang pencemaran pada waktu lampau dengan dendrokimiawi dan pada saat terjadi pencemaran dengan fitoscreening pada media tanah, air dan udara. Tumbuhan dapat melakukan proses perpindahan pencemar dari media lingkungan ke dalam jaringan tumbuhan. Sehingga tumbuhan menjadi bioindikator untuk memetakan pencemaran lingkungan yang disebut fitomonitoring atau fitoscreening (Sorek dkk., 2008). Metode tersebut adalah pendekatan uji yang cepat, murah dan ramah lingkungan, dimana keseluruhannya merupakan metode dalam fitoforensik.

Metode fitoforensik merupakan cara baru penyelidikan melalui tumbuhan. Pada umumnya metode penyelidikan lingkungan (*environmental forensic*) melihat pencemaran yang terjadi disuatu tempat, mengambil sampel dan mengidentifikasi sumber pencemar pada media lingkungan terkait hukum ataupun pemenuhan suatu peraturan (Hester dan Harrison, 2008). Sehingga *environmental forensic* lebih pada media lingkungan fisik, seperti: air, tanah dan udara, sedangkan fitoforensik pada tumbuhan jarang dilakukan.

Berdasarkan pemahaman bahwa pencemaran lingkungan tertumpuk dalam tumbuhan, maka tumbuhan dapat digunakan sebagai indikator penyelidikan pencemaran lingkungan dan penentuan waktu kejadiannya. Metode fitoscreening, fitomonitoring dan dendrokimiawi dapat digunakan secara bersama-sama dalam penyelidikan permasalahan lingkungan yang merupakan pendekatan dalam fitoforensik (Burken dkk., 2011).

Fitoforensik dapat pula digunakan untuk mendeteksi keberadaan pencemaran pada tanah dan air tanah dengan menggunakan tumbuhan, tanpa harus menggali tanah ataupun memompa air tanah. Metode fitoforensik ini memerlukan waktu yang singkat dan biaya yang jauh lebih murah daripada dengan metode pendeteksian tradisional. Penyelidikan pencemar diperkotaan sangat penting dalam melindungi kesehatan manusia (Limmer dkk., 2011).

## 2.4 Logam Berat (Pb dan Cd)

Logam digolongkan sebagai logam berat (*heavy metal*) apabila beratnya mencapai 5 gr atau lebih pada tiap 1 cm<sup>3</sup>, sehingga dapat dikatakan bahwa logam berat memiliki berat 5 kali lebih besar dari berat air (Darmono, 1995). Menurut karakteristiknya logam berat diklasifikasikan memiliki *specific gravity* lebih besar daripada 4 (Palar, 1994) atau berat jenis 5 (Soemirat, 2003).

Logam berat dibedakan menjadi 2 (dua) golongan. Logam berat beracun, dimana logam berat ini sama sekali tidak dibutuhkan dalam tubuh makhluk hidup, karena dalam konsentrasi yang kecil sudah bersifat toksik, seperti Pb, Cd dan Hg; dan logam berat esensial, yang merupakan logam berat yang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup dalam konsentrasi tertentu dan umumnya kecil, sehingga logam berat ini berperan dalam pertumbuhan maupun perkembangan sel-sel tubuh serta dalam proses biokimia. Apabila kebutuhan dalam jumlah sangat kecil tidak terpenuhi maka akan berakibat fatal bagi kelangsungan hidup makhluk hidup, akan tetapi apabila jumlahnya berlebih dapat meracuni tubuh makhluk hidup, seperti Cu, Zn, Ni, dan Cr.

Timbal dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiah dinamakan *plumbum* dan disimbolkan dengan Pb. Pb masuk dalam kelompok logam golongan IVA pada tabel periodik unsur kimia, memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,2 (Palar, 1994). Logam berwarna abu-abu kebiruan, dengan rapatan tinggi, memiliki sifat logam lunak, sifat kimia yang aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam dan titik lebur yang rendah (327,5°C).

Pb merupakan pencemar di semua media lingkungan (*multi media pollutant*). Di antara logam berat toksik, Pb memiliki penyebaran / distribusi yang luas dan penyebab utama pencemaran lingkungan serta gangguan terhadap kesehatan (Allowey dan Ayres, 1997; Cunningham dan Berti, 1993). Pb adalah logam berat yang secara fisiologis tidak diperlukan oleh tumbuhan maupun hewan, dan tidak dapat didegradasi. Sehingga remediasi cemaran logam berat ini dilakukan secara fisik, kimiawi dan biologis (Hindersah dkk., 2004).

Pb dapat masuk dalam jaringan tumbuhan melalui permukaan daun dan sistem perakaran. Sedangkan pada hewan dan manusia Pb masuk melalui makanan dan minuman yang dikonsumsi serta melalui pernapasan dan penetrasi pada kulit. Akumulasi Pb pada tubuh manusia akan menimbulkan berbagai dampak yang merugikan bagi kesehatan, diantaranya kerapuhan tulang, rusaknya sistem reproduksi, kerusakan otak, keracunan pada sistem saraf pusat (Amriani, 2011), memberi efek pada aktivitas enzim (Widowati dkk., 2008), sintesa haemoglobin, sistem saraf, sistem urinaria, sistem reproduksi, dan sistem endokrin (Palar, 1994).

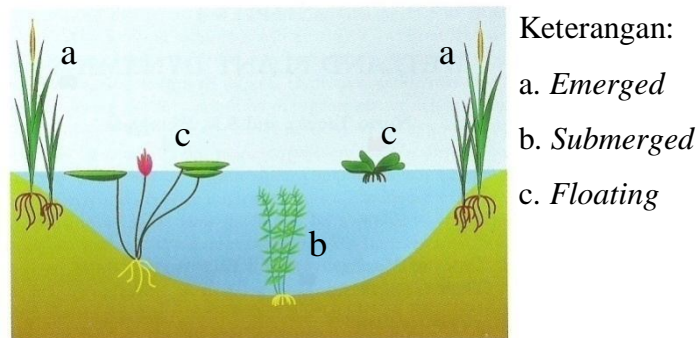
Kadmium (Cd) merupakan logam lunak, berwarna putih keperakan, memiliki nomor atom 48 dengan berat atom 112,41, bersifat tahan panas dan sangat tahan terhadap korosi. Sehingga sangat baik untuk campuran pembuatan bahan keramik, enamel, plastik maupun melapisi plat besi dan baja (Darmono, 1995). Penggunaan Cd dan persenyawaannya banyak ditemukan dalam industri pencelupan, fotografi, fotoelektrik, fotokonduktor, dan lain-lain (Darmono, 2006). Selain itu pula banyak digunakan dalam industri ringan seperti pengolahan roti, ikan, makanan, minuman, tekstil dan lain-lain (Palar, 1994).

Cd termasuk jenis logam berat yang berbahaya karena beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Cd berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Sama halnya dengan Pb, Cd dapat menyebabkan keracunan yang bersifat kronis dan akut, yang memberikan efek pada tulang, paru-paru, darah, jantung, dan sistem reproduksi (Palar, 1994).

Bahan toksik seperti Pb dan Cd dapat masuk dalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan/gastro intestinal/ingesti, paru-paru/inhalasi, kulit/topikal dan jalur perenteral lainnya (Achmad, 2004). Tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam berat dari media lingkungan (Irwan dkk., 2008). Cd lebih mudah diakumulasi pada tumbuhan dibandingkan Pb. Percobaan terhadap daya serap tumbuhan secara alami terhadap konsentrasi Pb dan Cd adalah 8 mg/l (Neis dan Bittner, 1989). Pada daun konsentrasi toksisitas untuk Cd dan Pb adalah 5-30 ppm dan 30-300 ppm (Alloway dan Ayres, 1997).

## 2.5 Koleksi Tumbuhan Kebun

Pada umumnya tumbuhan akuatik dikelompokkan menjadi tiga kategori: a. *Emerged* dimana tumbuhan muncul di atas permukaan air namun akarnya berada dalam sedimen, b. *Submerged* dimana seluruh tumbuhan berada di dalam air, dan c. *Floating* dimana seluruh bagian tumbuhan atau sebagian (daun) mengapung pada permukaan air (Tanaka dkk., 2011), seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pengelompokan Tumbuhan Akuatik.

Tumbuhan koleksi Kebun Raya Purwodadi sejumlah 1.925 jenis, yang pada umumnya merupakan tumbuhan terrestrial / daratan. Namun terdapat juga tumbuhan akuatik / perairan sejumlah 15 jenis, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jenis tumbuhan akuatik koleksi Kebun Raya Purwodadi

Jenis	Asal / Penyebaran	Habitat	Siklus Hidup	Lokasi/Vak
<i>Acanthus ilicifolius</i>	Java	<i>Emerged</i>	Perrineal	I.D.I. 6.
<i>Acanthus montanus</i>	Java	<i>Emerged</i>	Perrineal	XII.G.A. 13, XIV.G.III. 20.
<i>Acorus calamus</i>	Java	<i>Emerged</i>	Perrineal	XIV.G.III. 10.
<i>Ceratopteris thalictroides</i>	Tropics	<i>Emerged</i>	Perrineal	III.B. 6.
<i>Coix lacryma-jobi</i>	Trop. Asia	<i>Emerged</i>	Annual	II.A.I. 16.
<i>Cyperus papyrus</i>	Trop. Africa	<i>Emerged</i>	Perrineal	III.B. 2.



<b>Jenis</b>	<b>Asal / Penyebaran</b>	<b>Habitat</b>	<b>Siklus Hidup</b>	<b>Lokasi/Vak</b>
<i>Echinodorus radicans</i>	N. America	<i>Emerged</i>	Perrineal	I.D.I. 1.
<i>Ipomoea aquatica</i>	Java	<i>Floating</i>	Perrineal	III.B. 5, XXV.B. 2.
<i>Lasia spinoso</i>	Indonesia	<i>Emerged</i>	Perrineal	III.B. 3, XIV.G.III. 13.
<i>Nelumbo nucifera</i>	E. Java	<i>Floating</i>	Perrineal	XIV.G.III. 5.
<i>Neptunia plena</i>	Trop. America	<i>Emerged</i>	Perrineal	XII.G.C. 20.
<i>Nympaea sp.</i>	S.E. Sulawesi	<i>Floating</i>	Perrineal	III.B. 39.
<i>Oryza minuta</i>	Culta	<i>Emerged</i>	Annual	XII.G.C. 22.
<i>Sagittaria lancifolia</i>	Trop. America	<i>Emerged</i>	Perrineal	I.D.I.4, III.B.4, XII.G.D.12.
<i>Thalia geniculata</i>	Trop. America	<i>Emerged</i>	Perrineal	III.B. 19, XII.G.B. 9.
<i>Typha angustifolia</i>	Europe	<i>Emerged</i>	Perrineal	I.D.I. 5, III.B. 38.

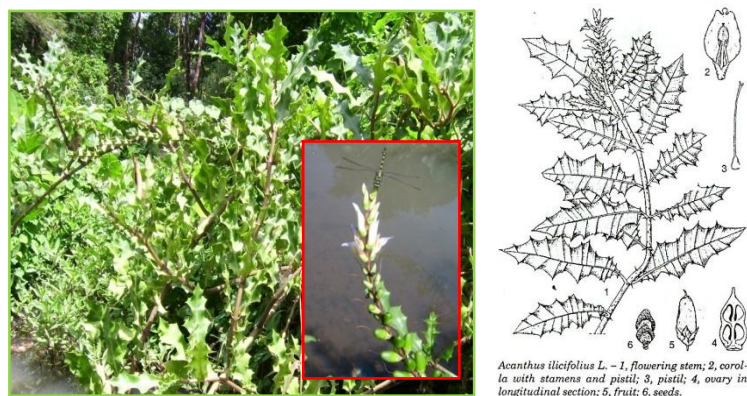
Menurut Irawanto (2009) tercatat 34 jenis tumbuhan akuatik yang ditemukan di Kebun Raya Purwodadi. Potensi tumbuhan akuatik tersebut selain sebagai tanaman hias dapat pula sebagai sumber pangan, obat-obatan dan kerajinan. Di samping itu, tumbuhan akuatik tersebut juga berkemungkinan memiliki potensi dalam penyelesaian permasalahan lingkungan karena berhabitat di *wetland* (lahan basah). Lahan basah merupakan area yang tergenang air sebagian atau sepanjang tahun disebabkan lokasinya dalam bentang alam (Kadlec dan Wallace, 2009).

Dari tumbuhan akuatik koleksi kebun raya tersebut, terpilih *Acanthus ilicifolius* (jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (jali). Pemilihan tumbuhan koleksi didasarkan pada kriteria: jenis asli setempat, ditemukan liar di alam, dan dapat dilakukan perbanyakan / memungkinkan dalam perbanyakannya. Kedua jenis tersebut dipertelakan dibawah ini.

### ***Acanthus ilicifolius* (Acanthaceae)**

Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* memiliki nama lokal antara lain: Jeruju (Indonesia), jeruju putih (Sumatra), daruju, druju (Jawa). Malaysia: jeruju, jeruju puteh (Peninsular). Inggris: Sea holly. Filipina: daguari, diluariu (Tagalog), kasumba (Iloko). Nama sinonim *Acanthus volubilis* Wallich, *Acanthus doloarius* Blanco, *Dilivaria ilicifolia* Ness.

Tumbuhan terna, tegak atau merambat, perenial, tinggi mencapai 1,5 m sampai 2 m, batang basah tegak, bercabang banyak, kulit batang licin. Daun berhadapan, lonjong, rapat atau terputus, tangkai pendek, berbentuk anak panah, ujung runcing, tepi bercuping dalam dengan duri tebal, kaku dan tajam, permukaan daun bergelombang, berwarna hijau muda mengkilat. Bunga diujung, berwarna biru. Habitusnya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



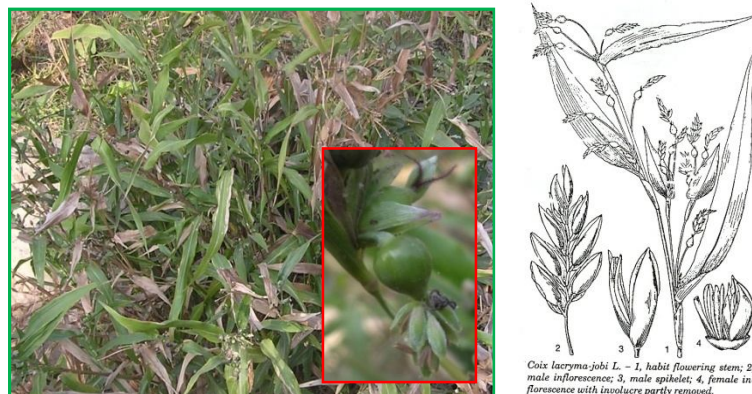
Gambar 2.2. Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (koleksi hidup dan ilustrasi).

Tumbuh di kawasan Asia, dapat dijumpai dari India Selatan, Sri Lanka sampai Indo-China, Indonesia, Filipina dan Australia Utara, jarang ditemukan di Malaysia. Di Asia tropis dan Afrika Barat tropis, melalui Malaya sampai Polinesia. Dari India, Semenanjung India, Ceylon, Sri Lanka, Bangladesh, Pakistan, Burma, Malaya, Kepulauan Filipina, Indonesia dan Australia. Banyak ditemukan di Jawa dan Madura (Jawa Timur). Habitatnya di sepanjang pinggir muara sungai dan danau, tepi laut, sering ditemukan pada tanah rawa dan hutan bakau dekat ke pantai. Mampu tumbuh sampai pada ketinggian 500 m dpl (Hidayat dkk., 2004; Backer dan Bakhaizen, 1963; vanValkenberg dan Bunyapraphatsara, 2002).

### *Coix lacryma-jobi* (Poaceae)

Tumbuhan *Coix lacryma-jobi* memiliki nama lokal antara lain: Jali (Indonesia); Penggong ileum, Singkiru eme, Cingkeru, Sipiluit, Jelim, Lahya (Sumatra), Jalim (Aceh), Singkoru balu (Batak), Mani-mani yaki (Manado), Hajering, Hanjere, Hanjeli, Hajeli (Sunda), Jali watu, Jali jagung, Jali, Japen (Jawa tengah), Jelei, Pare, Pelindas, Luwong (Kalimantan), Kalide, Jole kojo, To ulope (Sulawesi), Salea untan (Ambon), Karisi, Klumba (Irian); Malaysia: Jelai pulut, Menjelai, Pit-pit grass; Filipina: Kaudlasan; Inggris: Job's tears, Adlay.

Tumbuhan rumput tegak, annual, tinggi 1,5 m sampai 3 m. Batang bulat, lunak, bergabus, beruas-ruas, hijau kekuningan. Daun tunggal, berpelepah, lanset memanjang, tepi rata, kasap, berwarna hijau. Bunga majemuk, bulir, di ketiak daun. Biji bulat telur, berdiameter 1 cm, bervariasi dalam bentuk, warna dan kekerasan, berwarna hijau kekuningan sampai ungu keputihan. Habitusnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (koleksi hidup dan ilustrasi).

Distribusi asli dari Asia tropis, diduga dari Asia bagian selatan dan bagian timur. Secara luas menyebar di seluruh daerah tropis dan sedang, terutama di India, China, Filipina, Thailand, Malaysia dan daerah Mediterraneana. Jenis liar banyak terdapat di Jawa. Habitat alaminya pada tempat berrawa, daerah payau dan dekat sungai. Toleran terhadap banjir, ditemukan sampai ketinggian 2000 m dpl (Heyne, 1987; Backer dan Bakhaizen, 1963; Grubben dan Partohardjono, 1996).

## 2.6 Review Penelitian Terdahulu

Menurut Prasad dan Freitas (2003) terdapat 400 jenis tumbuhan dalam teknologi fitoremediasi yang berasal dari suku Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Cunouniaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae dan Euphorbiaceae. Sedangkan penelitian di ITS terhadap jenis-jenis tumbuhan yang telah digunakan untuk pengelolaan limbah mulai pada tahun 2002 sampai 2012, diperoleh 42 publikasi hasil penelitian. Dari publikasi tersebut diketahui ada 16 jenis tumbuhan, Dimana tumbuhan akuatik yang paling sering digunakan ada 4 jenis yaitu: eceng gondok (*Eichornia crassipes*), kiambang (*Salvinia molesta*), kayu apu (*Pistia stratiotes*), dan lidi air (*Typha longifolia*) (Irawanto, 2013<sup>c</sup>).

Selain itu hasil penelitian terkait logam Pb dan Cd menggunakan tumbuhan, tercatat 47 data bersumber pada UNAIR, UNESA dan ITS, yaitu: 18 dari 171 data (lib.unair.ac.id), 12 dari 68 data (digilibunesa.org) dan 17 dari 1946 data (digilib.its.ac.id). Diperoleh 34 jenis tumbuhan, dimana 19 tumbuhan darat (pohon/perdu), 8 tanaman budidaya/pangan dan 7 tumbuhan akuatik. Dimana 7 tumbuhan akuatik tersebut adalah api-api (*Avicennia marina*), semanggi air (*Marsilea crenata*), kangkung air (*Ipomoea aquatica*), eceng gondok (*Eicchornia crassipes*), duckweeds (*Lemna minor*), kiambang (*Salvinia molesta*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) (Irawanto, 2014<sup>a</sup>).

Berdasarkan hasil penelitian diatas, masih sedikit jenis tumbuhan akuatik yang digunakan, mengingat besarnya keanekaragaman jenis tumbuhan di Indonesia. Sehingga tidak menutup kemungkinan, masih banyak tumbuhan lokal, liar di alam yang belum diketahui manfaatnya, dapat mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan dan mungkin memiliki potensi yang cukup menjanjikan dalam fitoteknologi. Seperti jenis tumbuhan akuatik *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* yang secara alami ditemukan tumbuh di muara ataupun tepi sungai.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Deskripsi Umum**

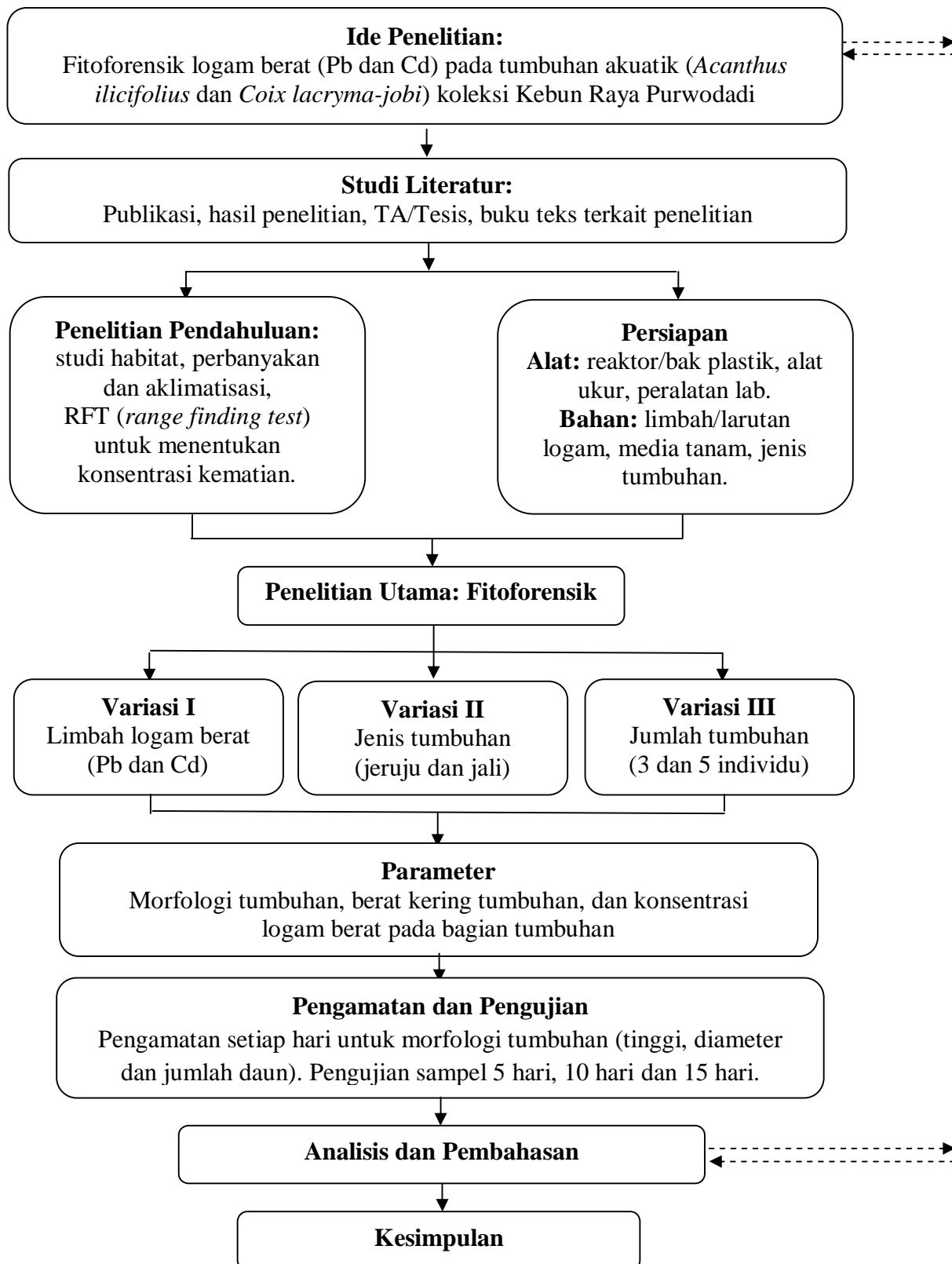
Penelitian fitoforensik logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) koleksi Kebun Raya Purwodadi bertujuan mengetahui jangka waktu dan lokasi spesifik pencemar dalam tumbuhan serta perbedaan antar variasi. Penelitian ini bersifat eksperimental, untuk mencapai tujuan penelitian maka kerangka penelitian yang digunakan adalah merumuskan ide penelitian, melakukan studi literatur terhadap penelitian terdahulu, melakukan penelitian pendahuluan berupa studi habitat, perbanyakan dan aklimatisasi, serta penentuan RFT (*Range Finding Test*) untuk menentukan konsentrasi kematian, kemudian melakukan penelitian utama berupa fitoforensik dengan pengamatan morfologi tumbuhan, pengukuran berat kering tumbuhan dan analisa kandungan dalam bagian tumbuhan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dalam pembahasan, dan akhirnya disimpulkan.

#### **3.2. Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di rumah kaca jurusan Teknik Lingkungan – ITS dengan material tumbuhan dari pembibitan Kebun Raya Purwodadi – LIPI. Kemudian preparasi dan analisis kandungan logam dilakukan di Laboratorium SILFI (Sanitas Lingkungan dan Fitoteknologi) Jurusan Teknik Lingkungan – ITS dan Laboratorium Pusat Studi PPLH (Pemukiman, Prasarana, dan Lingkungan Hidup) LPPM – ITS.

#### **3.3. Kerangka Penelitian**

Kerangka penelitian sebagai gambaran awal untuk memudahkan penelitian dan penyusunan laporan hasil penelitian (tesis), dalam diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Kerangka Penelitian



Kerangka penelitian seperti pada Gambar 3.1 berisi urutan langkah atau kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian, sebagai berikut:

- Ide Penelitian

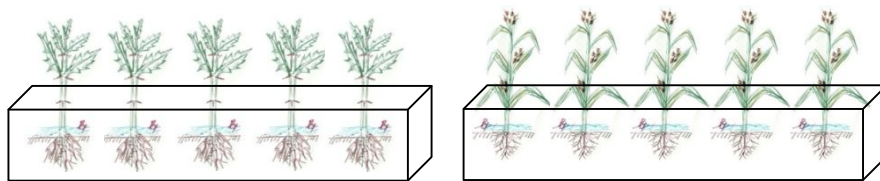
Meningkatnya aktivitas manusia menghasilkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bersifat toksik. Penelitian tentang pencemaran lingkungan dan upaya fitoremediasi telah banyak dilakukan. Sedangkan upaya melacak suatu pencemaran dengan menggunakan tumbuhan atau fitoforensik masih belum banyak dilakukan. Hal ini yang mendasari ide penelitian.

- Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memperkuat ide penelitian. Selama pelaksanaan penelitian, studi literatur diperlukan dalam meningkatkan kedalaman pembahasan dan analisis. Sumber literatur berasal dari jurnal, buku, tugas akhir/tesis dan karya tulis ilmiah yang berhubungan dengan penelitian.

- Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan sangat diperlukan dan penting dalam melakukan penelitian, baik di lapangan maupun di laboratorium. Terutama tempat/reaktor yang digunakan dalam penelitian, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Reaktor Penelitian

- Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan diperlukan untuk mempersiapkan tumbuhan yang akan digunakan. Terdapat tiga tahap dalam penelitian pendahuluan yaitu perbanyakkan tumbuhan sesuai siklus hidupnya, aklimatisasi untuk menyesuaikan kondisi rumah kaca (*green house*) dan RFT (*range finding test*) untuk menetapkan konsentrasi yang menyebabkan kematian pada tumbuhan.

- **Penelitian Utama**

Penelitian utama merupakan uji fitoforensik yang dilakukan sampai tumbuhan mengalami kematian dengan tiga variasi yaitu: limbah logam berat (Pb dan Cd), jenis tumbuhan (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*), dan jumlah tumbuhan (tiga dan lima individu). Penelitian utama dapat dibagi menjadi tiga tahap, berupa: persiapan larutan logam berat dan pemaparannya, pengamatan selama proses pemaparan dan pengambilan sampel, terakhir preparasi dan pengujian kandungan logam berat dalam bagian tumbuhan dan media tanam.

- **Analisis dan Pembahasan**

Analisis dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil pengamatan yaitu: (1.) tempat tumbuh berupa: suhu dan kelembaban *green house*, suhu, kelembaban dan pH media tanam. (2.) morfologi tumbuhan berupa: tinggi, diameter batang, dan jumlah daun, serta hasil pengukuran berat basah dan berat kering tumbuhan. (3) konsentrasi logam berat (Pb dan Cd) dalam media tanam (air dan tanah) serta bagian tumbuhan (akar, batang dan daun) dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*).

Pembahasan dilakukan terhadap analisis data selama penelitian. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan pemahaman.

- **Kesimpulan**

kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan serta merupakan jawaban dari tujuan penelitian.

### **3.4. Alat dan Bahan Penelitian**

Peralatan dalam penelitian ini, berupa alat lapangan antara lain:

- Reaktor dari bak plastik kapasitas 10 Liter dengan panjang 30 cm, lebar 25 cm dan tinggi 10 cm. Sejumlah 58 reaktor, terdiri dari 48 reaktor uji dan 10 reaktor kontrol. Reaktor kontrol berupa tumbuhan dengan media tanam tanpa paparan logam berat, dan media tanam dengan paparan logam berat tanpa tumbuhan.
- Pengaris/meteran untuk mengukur tinggi tumbuhan.

- Termohigro digital untuk mengukur suhu dan kelembaban ruang, termometer kaca untuk mengukur suhu media.
- Timbangan untuk mengukur berat media tanam (pasir) yang digunakan.
- Skop untuk mencampur dan mengambil media tanam.
- Gunting stek untuk melakukan perbanyakan tumbuhan.

Sedangkan peralatan pengujian laboratorium berupa:

- Alat kaca (*glassware*) seperti gelas ukur 100 ml, pipet volumetrik 10 ml, beaker gelas 500 ml, dan labu ukur 1000 ml, untuk pembuatan larutan induk.
- Neraca analitik, untuk menimbang berat logam berat yang akan digunakan.
- Oven, digunakan untuk mengeringkan tumbuhan pada analisis berat kering.
- AAS, digunakan untuk menganalisa logam berat (Pb dan Cd).

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini, antara lain:

- Limbah / pencemar buatan berupa logam berat dari larutan induk Pb dan Cd. Larutan induk dibuat dari senyawa Timbal Nitrat /  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (Merck 7398) dan Kadmium Sulfat Hidrat /  $\text{Cd}_3\text{O}_{12}\text{S}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (Merck 2027).
- Media tanam yang digunakan berupa pasir dan air, pasir yang digunakan pasir hitam (lumajang/lesti) sejumlah 5 kg tiap reaktor, dengan pemberian air (kran/PDAM kampus) sejumlah 2 Liter tiap reaktor setiap 5 hari sekali. Bila diperlukan penambahan nutrisi (pupuk NPK) untuk kelangsungan hidup tumbuhan sejumlah 100 ml tiap reaktor setiap 30 hari sekali.
- Tumbuhan yang digunakan termasuk tumbuhan akuatik kelompok *emergent* dengan bagian akar, batang dan daun yang jelas. Dua jenis tumbuhan tersebut adalah: *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) berumur 6 bulan dan *Coix lacryma-jobi* (Jali) berumur 3 bulan.

### 3.5. Variabel Penelitian

#### a. Variabel Bebas

- Variasi jenis logam (Pb dan Cd), jenis tumbuhan (*Acanthus ilicifolius* / jeruju dan *Coix lacryma-jobi* / jali) dan jumlah tumbuhan (tiga dan lima individu).

b. Variabel Terikat

- Konsentrasi logam, biomassa, dan morfologi pada tumbuhan.

c. Variabel Kontrol

- Reaktor tanpa logam (Pb dan Cd), dan tanpa tumbuhan.

### 3.6. Tahap Penelitian

a. Tahap Perbanyakan dan Aklimatisasi

Tujuan dari tahap ini adalah menyediakan bibit tumbuhan yang diperlukan untuk penelitian serta agar tumbuhan uji dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan tempat percobaan / rumah kaca (*green house*) sebelum perlakuan. Persiapan yang dilakukan pada tahap ini meliputi:

- Mempersiapkan tempat / lokasi berupa rumah kaca.
- Mempersiapkan media tumbuhan seperti tanah dan air, serta nutrisi (pupuk / hormon) untuk menjaga pertumbuhan.
- Mempersiapkan material tumbuhan untuk perbanyakan, baik berupa generatif (biji) maupun vegetatif (stek batang).
- Perbanyakan tumbuhan dengan jumlah yang memadai, diambil dari koleksi Kebun Raya Purwodadi dan dipindahkan pada reaktor.

Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara menanam tumbuhan selama 2 minggu pada media tanah tanpa pencemar untuk mengkondisikan. Setelah 4 minggu dilakukan pemilihan tumbuhan yang stabil. Tumbuhan dikatakan stabil jika tumbuh subur, tidak mengalami kematian, tidak layu dan dapat bertunas. Tumbuhan yang telah tumbuh tunas daun diamati parameter fisiknya (tinggi, panjang daun, dan jumlah daun). Apabila tumbuhan telah stabil selanjutnya siap digunakan untuk penelitian pendahuluan (RFT) dan penelitian utama - fitoforensik.

b. Tahap RFT (*Range Finding Test*)

RFT dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan dalam menyerap polutan pada konsentrasi tertentu. Hal ini bertujuan untuk

menetapkan konsentrasi maksimum pencemar / toksikan (logam berat) yang dapat ditolerir oleh tumbuhan. Persiapan pada tahap ini adalah:

- Persiapan larutan logam (Pb dan Cd) dan aquades sebagai pengencer untuk mendapatkan konsentrasi dari 0 (kontrol) sampai dengan 10.000 mg/L.
- Menyiapkan tumbuhan hasil aklimatisasi dalam reaktor.

Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Tumbuhan uji ditanam dalam reaktor yang berisi media tanah dan air.
- Digunakan kontrol yang diperlakukan sama dengan reaktor uji tanpa menggunakan pencemar.
- Kemudian tumbuhan dipapar logam (Pb dan Cd) dengan berbagai konsentrasi.
- Diamati parameter pertumbuhan tumbuhan setelah 7 hari pemaparan.
- Dilakukan variasi *high concentration* logam berat Pb dan Cd untuk setiap tanah dan air terkontaminasi terhadap tumbuhan uji.
- Media yang mempunyai konsentrasi terbesar dan menghasilkan tumbuhan dengan kondisi mati digunakan sebagai pedoman konsentrasi pengujian.
- Konsentrasi dinaikkan apabila tumbuhan tidak menunjukkan perubahan / kematian.

#### c. Tahap Uji Fitoforensik

Kegiatan pada tahap ini adalah:

- Persiapan konsentrasi limbah logam berat (Pb dan Cd) untuk uji fitoforensik.  
Pembuatan limbah buatan untuk media tanam tercemar logam berat timbal (Pb) menggunakan larutan induk  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan kadmium (Cd) menggunakan larutan induk  $\text{Cd}_3\text{O}_{12}\text{S}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi mematikan hasil RFT dalam satuan ppm.
- Uji menggunakan reaktor yang telah berisi media tanam.  
Setelah dilakukan uji pendahuluan, penelitian dilakukan secara duplo. Uji fitoforensik dilakukan dengan menambahkan larutan logam berat ke dalam media tanam pada masing-masing variasi jumlah tumbuhan dan jenis tumbuhan. Konsentrasi paparan uji fitoforensik didapatkan dari hasil RFT untuk konsentrasi kematian.

- Pengamatan paparan logam Pb dan Cd.

Pengamatan dilakukan setiap 5 hari sekali untuk setiap parameter selama 15 hari. Parameter yang diukur adalah konsentrasi logam dalam bagian tumbuhan, morfologi tumbuhan dan berat kering tumbuhan.

- Preparasi tumbuhan setelah pemaparan.

Setelah pemaparan, tumbuhan diambil sesuai dengan jangka waktu (5, 10 dan 15 hari), kemudian dilakukan pengeringan untuk pengukuran biomassa (Sitompul dan Guritno, 1995; Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010) dan preparasi sampel pada bagian tumbuhan dan media tanam untuk melihat kandungan logam berat Pb dan Cd sesuai metode standar (Franson, 2005). Kandungan logam berat dapat diketahui dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Prosedur pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 3.7. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk setiap hasil pengamatan. Selain mengetahui waktu dan lokasi spesifik logam berat pada bagian tumbuhan, juga besar kandungan pada jenis dan jumlah tumbuhan yang berbeda. Data yang diperoleh akan disajikan menggunakan tabel dan grafik sehingga mudah dipahami.

Kemudian dilakukan pembahasan dengan mengevaluasi, menguraikan dan menyelidiki hasil yang telah diperoleh dengan membandingkan penelitian terdahulu. Sehingga dari uraian-uraian tersebut didapatkan suatu sintesis yang tepat sebagai hasil gabungan analisis dalam pembahasan.

## BAB 4

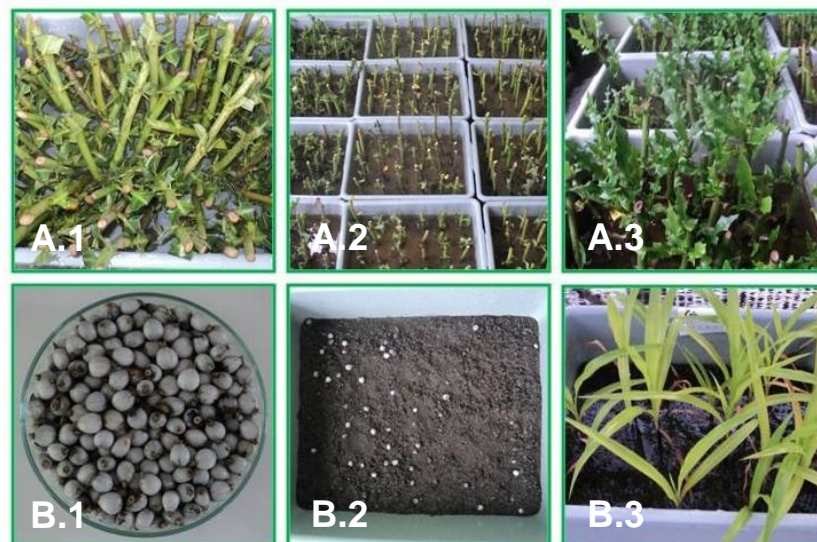
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan sebelum penelitian fitoforensik dimulai, agar proses penelitian dapat berjalan dengan lancar. Terdapat tiga tahap dalam penelitian pendahuluan yaitu: perbanyakan, aklimatisasi dan RFT, yang diuraikan sebagai berikut:

##### A. Tahap Perbanyakan Tumbuhan

Tahap perbanyakan ini dilakukan pada awal penelitian pendahuluan. Tahap ini berfungsi untuk menyediakan material bibit tumbuhan sesuai dengan jumlah kebutuhan dan kondisi yang diinginkan secara seragam. Pada perbanyakan tumbuhan dapat dilakukan dengan cara generatif (biji) maupun vegetatif (stek batang), sesuai dengan ketersediaan material tumbuhan dan alokasi waktu yang tersedia. Hasil perbanyakan tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan jali (*Coix lacryma-jobi*) pada media tanam di rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil perbanyakan tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (A) (A.1 stek batang, A.2 bak semai, A.3 bibit jeruju umur 3 bulan) dan *Coix lacryma-jobi* (B) (B.1 biji, B.2 bak semai, B.3 bibit jali umur 1,5 bulan).

Pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* perbanyakan bibit dilakukan secara vegetatif dengan stek batang, karena keterbatasan biji dan stek lebih cepat dalam perbanyakannya. Stek batang tumbuhan *Acanthus ilicifolius* yang optimal pertumbuhannya diambil pada batang tengah, dengan diameter 0,7 – 1,2 cm dan sepanjang 12-15 cm. Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* termasuk tumbuhan perreneal, memiliki siklus hidup 2 tahun atau lebih, sehingga bibit dewasa yang akan dipergunakan dalam penelitian berumur 6 bulan. Berdasarkan hasil pengamatan siklus hidup *Acanthus ilicifolius* selama penelitian, dari mulai perbanyakan bibit tanggal 10 November 2013 sampai muncul bunga pertama tanggal 20 Oktober 2014, memerlukan waktu 11 bulan.

Sedangkan tumbuhan *Coix lacryma-jobi* perbanyakan bibit dilakukan secara generatif dengan biji, karena monokotil dan tidak memungkinkan secara vegetatif. Biji *Coix lacryma-jobi* yang baik daya tumbuhnya apabila tidak mengambang di air dan telah disimpan selama 15-30 hari setelah panen. Tumbuhan *Coix lacryma-jobi* termasuk tumbuhan annual, memiliki siklus hidup 1 tahun atau kurang, sehingga bibit dewasa yang akan dipergunakan dalam penelitian berumur 3 bulan. Berdasarkan hasil pengamatan siklus hidup *Coix lacryma-jobi* selama penelitian, dari mulai perbanyakan bibit tanggal 10 Maret 2014 sampai berbuah/berbiji pertama tanggal 20 Agustus 2014, memerlukan waktu 5 bulan.

Bibit tumbuhan *Acanthus ilicifolius* yang diperbanyak dalam 12 bak semai sejumlah 340 stek batang, namun 35% tidak dapat hidup dan hanya 51% yang tumbuh dengan baik. Sedangkan *Coix lacryma-jobi* yang telah disemai dalam 12 bak semai sejumlah 1200 biji, tetapi hanya 16% viabilitasnya (yang mampu tumbuh). Bibit yang tumbuh dari perbanyakan kedua jenis tersebut, kemudian digunakan dalam penelitian.

## **B. Tahap Aklimatisasi Tumbuhan**

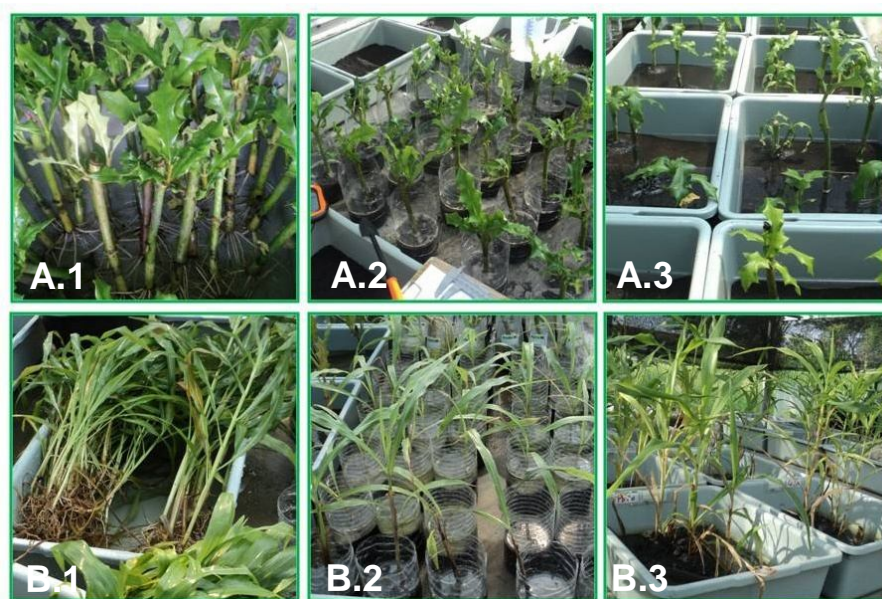
Tahap aklimatisasi adalah tahap kedua yang dilakukan dalam penelitian pendahuluan. Tahap ini dilakukan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan tempat penelitian dalam *greenhouse* (rumah kaca). Proses aklimatisasi ini



tergantung dari material tumbuhannya, apabila tumbuhan diperbanyak pada kondisi lingkungan yang hampir sama dengan tempat penelitian maka memerlukan 5-10 hari aklimatisasi, namun bila berbeda kondisi diperlukan waktu lebih 25-30 hari, dengan beberapa perlakuan penyesuaian.

Tahap aklimatisasi diperlukan apabila melakukan *transplanting* (pemindahan bibit tumbuhan), dimana bibit dipindahkan dari tempat persemaian (bak semai) ke tempat perlakuan baik perlakuan untuk penelitian pendahuluan (RFT) ataupun penelitian utama (fitoforensik). Transplanting bibit tumbuhan ke bak tanam untuk jenis *Acanthus ilicifolius* dilakukan pada tanggal 28 Januari 2014 dan untuk transplanting jenis *Coix lacryma-jobi* pada tanggal 29 Juni 2014.

Aklimatisasi berakhir apabila tumbuhan dapat beradaptasi dengan lingkungan yang ada (rumah kaca) dengan daun yang tidak mengering, berwarna hijau dan segar. Hasil aklimatisasi tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* setelah transplanting dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Aklimatisasi tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (A) (A.1 bibit transplanting, A.2 bibit pada uji RFT, A.3 bibit pada uji Fitoforensik) dan *Coix lacryma-jobi* (B) (B.1 bibit transplanting, B.2 bibit pada uji RFT, B.3 bibit pada uji Fitoforensik).

### C. Tahap RFT (*Range Finding Test*)

RFT dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tumbuhan untuk hidup pada konsentrasi pencemar logam berat yang dapat ditolerir oleh tumbuhan. RFT menggunakan tumbuhan tunggal, dengan perulangan tiga kali. Tumbuhan ditempatkan dalam wadah plastik berbentuk silinder dengan diameter 8 cm dan tinggi 15 cm.

Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* yang digunakan RFT memiliki kriteria sama, umur 3 bulan, diameter batang 0,5-0,8 cm, tinggi 15-20 cm, panjang akar > 10 cm, dan jumlah daun 2 - 6 helai. Sedangkan untuk jenis *Coix lacryma-jobi* berumur 3 bulan, diameter batang 0,3-0,6 cm, tinggi 25-50 cm, panjang akar > 10 cm, dan jumlah daun 6 - 10 helai.

RFT untuk jenis *Acanthus ilicifolius* dilakukan pada tanggal 20 – 27 Desember 2013 (RFT1) dan dilanjutkan tanggal 7 – 14 Januari 2014 (RFT2). RFT pertama dengan konsentrasi pemaparan sama untuk limbah logam Pb dan Cd yaitu: 500, 1000, 1500, dan 2000 ppm. Dalam 6 hari semua tumbuhan mati untuk limbah Cd pada semua konsentrasi. Sebaliknya pada limbah Pb semua tumbuhan hidup, dan diteruskan pengamatan selama dua minggu, dan tidak mengalami adanya kematian. Sehingga untuk RFT kedua digunakan konsentrasi limbah Pb diatas 2000 ppm dan limbah Cd dibawah 500 ppm. Pada RFT kedua, untuk konsentrasi Pb yaitu: 4000, 6000, 8000 dan 10.000 ppm. Sedangkan untuk konsentrasi Cd adalah: 100, 200, 300 dan 400 ppm. Dalam 6 hari tumbuhan yang mati untuk limbah Pb pada konsentrasi 8000 dan 10.000 ppm, sedangkan untuk limbah Cd pada konsentrasi 300 dan 400 ppm, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.(A.).

RFT untuk jenis *Coix lacryma-jobi* dilakukan pada tanggal 5 – 12 April 2014 (RFT1) dan dilanjutkan tanggal 2 – 9 Juli 2014 (RFT2). RFT pertama dengan konsentrasi pemaparan sama untuk limbah logam Pb dan Cd yaitu: 200, 400, 600, dan 800 ppm. Dalam 6 hari untuk tumbuhan mati dengan limbah Cd pada konsentrasi 600 dan 800 ppm. Sedangkan pada limbah Pb semua tumbuhan hidup sampai pengamatan selama dua minggu. Sehingga untuk RFT kedua digunakan konsentrasi limbah Pb diatas 800 ppm dan limbah Cd dibawah 600 ppm. Pada RFT kedua, untuk konsentrasi Pb yaitu: 2000, 4000, 8000 dan 10.000

ppm. Sedangkan untuk konsentrasi Cd adalah: 50, 100, 300 dan 500 ppm. Dalam 6 hari tumbuhan yang mati untuk limbah Pb pada konsentrasi 10.000 ppm, sedangkan untuk limbah Cd pada konsentrasi 500 ppm, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.(B.)

Tabel 4.1. Konsentrasi pemaparan limbah Pb dan Cd pada kedua jenis tumbuhan

(A.) <i>Acanthus ilicifolius</i>			(B.) <i>Coix lacryma-jobi</i>		
Konsentrasi *	Pb	Cd	Konsentrasi	Pb	Cd
0 ppm (kontrol)	0	0	0 ppm (kontrol)	0	0
<b>RFT 1</b>			<b>RFT 1</b>		
500 ppm	0	100	200 ppm	0	0
1000 ppm	0	100	400 ppm	0	100
1500 ppm	0	100	600 ppm	0	100
2000 ppm	0	100	800 ppm	0	100
<b>RFT 2</b>			<b>RFT 2</b>		
100 ppm	-	0	50 ppm	-	0
200 ppm	-	0	100 ppm	-	0
300 ppm	-	100	300 ppm	-	0
400 ppm	-	100	500 ppm	-	100
4000 ppm	0	-	2000 ppm	0	-
6000 ppm	0	-	4000 ppm	0	-
8000 ppm	100	-	8000 ppm	100	-
10000 ppm	100	-	10000 ppm	100	-

Keterangan: - = tidak diuji, 0 = hidup, 100 = mati, \* satuan (1 ppm = 1 mg/L).

Sehingga ditentukan konsentrasi mematikan untuk tumbuhan akuatik jenis *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* terhadap logam Pb sebesar 10.000 mg/L dan logam Cd sebesar 400 mg/L. Nilai yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan dalam tahap penelitian utama. Konsentrasi mematikan yang akan digunakan dalam penelitian utama – uji fitoforensik berdasarkan pengamatan selama penelitian pendahuluan – uji RFT. Selain penentuan konsentrasi mematikan dalam RFT juga dilakukan pengamatan perubahan morfologi untuk *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* selama pemaparan logam (Pb dan Cd). Perubahan morfologis berupa warna daun selama pengamatan RFT dapat dilihat Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Perubahan warna daun selama RFT pada kedua tumbuhan (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) berdasarkan waktu pengamatan.

• *Acanthus ilicifolius* untuk paparan logam Pb

RFT 1		1	3	6	9	12	14	RFT 2		1	3	6	9	12	14
500	1	H	H	H	H	H	H	4000	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	H	H	H	H
1000	1	H	H	H	H	H	H	6000	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	H	H	H	H
1500	1	H	H	H	H	H	H	8000	1	H	H	K	K	-	-
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	K	K	-	-
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	K	K	K	-
2000	1	H	H	H	H	H	H	10.000	1	H	H	K	K	-	-
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	K	-	-	-
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	K	-	-	-

• *Acanthus ilicifolius* untuk paparan logam Cd

RFT 1		1	3	6	9	12	14	RFT 2		1	3	6	9	12	14
500	1	H	H	K	K	-	-	100	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	K	K	K	-	-		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	K	-	-	-		3	H	H	H	H	H	H
1000	1	H	H	K	K	-	-	200	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	K	K	-	-	-		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	K	-	-	-	-		3	H	H	H	H	H	H
1500	1	H	K	-	-	-	-	300	1	H	H	H	K	K	-
	2	H	H	K	-	-	-		2	H	H	K	K	-	-
	3	H	H	K	K	-	-		3	H	K	K	K	-	-
2000	1	H	K	K	-	-	-	400	1	H	H	K	K	-	-
	2	H	H	K	-	-	-		2	H	K	K	-	-	-
	3	H	K	-	-	-	-		3	H	H	K	K	-	-

• *Coix lacryma-jobi* untuk paparan logam Pb

RFT 1		1	3	6	9	12	14	RFT 2		1	3	6	9	12	14
200	1	H	H	H	H	H	H	2000	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	H	H	H	H
400	1	H	H	H	H	H	H	4000	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	H	H	H	H
600	1	H	H	H	H	H	K	8000	1	H	H	K	H	H	K
	2	H	H	K	-	-	-		2	H	H	H	K	-	-
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	K	K	-	-	-

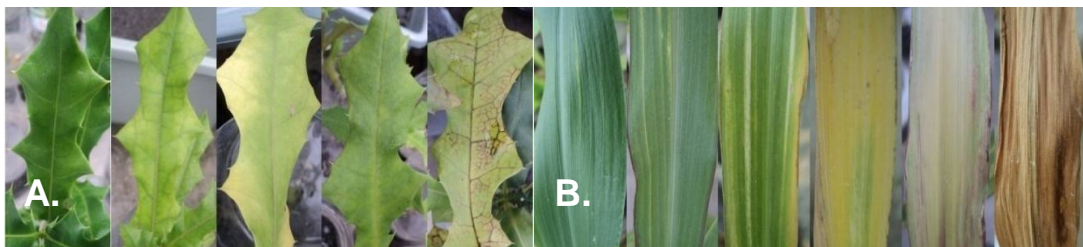
800	1	H	H	H	H	H	K	10.000	1	H	H	H	K	-	-
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	K	K	-	-	-
	3	H	H	H	H	H	K		3	H	H	K	-	-	-

• *Coix lacryma-jobi* untuk paparan logam Cd

RFT 1		1	3	6	9	12	14	RFT 2		1	3	6	9	12	14
200	1	H	H	H	H	H	H	50	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	H	H	H	H	H		2	H	H	H	H	H	H
	3	H	H	H	H	H	H		3	H	H	H	H	H	H
400	1	H	-	-	-	-	-	100	1	H	H	H	H	H	H
	2	H	K	-	-	-	-		2	H	H	H	K	K	K
	3	H	H	K	-	-	-		3	H	H	K	K	K	-
600	1	H	H	H	K	-	-	300	1	H	H	H	H	K	K
	2	H	H	K	-	-	-		2	H	H	K	K	K	-
	3	H	K	-	-	-	-		3	H	H	H	K	K	-
800	1	H	K	-	-	-	-	500	1	H	H	K	-	-	-
	2	H	K	K	-	-	-		2	H	H	K	-	-	-
	3	K	-	-	-	-	-		3	H	H	K	-	-	-

Keterangan: H = hijau, K = kuning, - = mati, satuan RFT (ppm)

Pemaparan limbah Pb dan Cd seperti pada Tabel 4.2. menunjukkan perubahan secara morfologis. Secara detail perubahan morfologi tumbuhan pada daun *Acanthus ilicifolius* terpapar Pb terlihat warna urat daun hitam kecoklatan dan batang hijau kehitaman. Pada paparan Cd, warna daun lebih hijau muda sampai kekuningan. Sedangkan pada *Coix lacryma-jobi* perubahan morfologis yang dapat dilihat untuk paparan logam Pb dan Cd ditemukan daun bergaris kekuningan, lebih hijau muda, tepi daun berwarna merah gelap, kuning kecoklatan, dan daun hijau kekuningan. Perubahan morfologi warna daun dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Perubahan morfologi daun tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (A) dan *Coix lacryma-jobi* (B).

Perubahan morfologis tersebut didukung hasil pengamatan jumlah daun dan tinggi tumbuhan yang hidup selama uji RFT. Hasil pengamatan jumlah dan tinggi pada jenis *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*, seperti dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Jumlah daun dan tinggi tumbuhan dalam RFT2 kedua jenis.

<i>Acanthus ilicifolius</i>	R	Awal	Akhir
<b>Pb</b>			
4000 ppm	1	12 helai, 10 cm	12 helai, 16 cm
	2	10 helai, 12 cm	14 helai, 17 cm
	3	10 helai, 15 cm	14 helai, 21 cm
6000 ppm	1	12 helai, 10 cm	12 helai, 16 cm
	2	12 helai, 13 cm	14 helai, 18 cm
	3	6 helai, 16 cm	10 helai, 21 cm
<b>Cd</b>			
300 ppm	1	6 helai, 14 cm	6 helai, 14 cm
	2	7 helai, 12 mm	12 helai, 15 mm
	3	6 helai, 18 cm	6 helai, 18 cm
400 ppm	1	10 helai, 12 cm	10 helai, 12 cm
	2	8 helai, 14 mm	8 helai, 13 mm
	3	6 helai, 21 mm	6 helai, 20 mm
<i>Coix lacryma-jobi</i>			
<b>Pb</b>			
2000 ppm	1	7 helai, 41cm	8 helai, 50 cm
	2	9 helai 55 cm	10 helai 55 cm
	3	4 helai 48 cm	5 helai 50 cm
4000 ppm	1	8 helai 34 cm	9 helai 35 cm
	2	7 helai 36 cm	7 helai 40 cm
	3	6 helai 43 cm	10 helai 46 cm
<b>Cd</b>			
100 ppm	1	7 helai 35 cm	8 helai 40 cm
	2	6 helai 38 mm	6 helai 42 mm
	3	9 helai 42 cm	9 helai 47 cm
300 ppm	1	5 helai 37 cm	7 helai 38 cm
	2	6 helai 32 mm	6 helai 35 mm
	3	6 helai 30 mm	6 helai 30 mm

Keterangan: R = reaktor uji ulangan ke- , helai = jumlah daun

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa paparan Pb dan Cd pada konsentrasi yang tidak mematikan dapat menghambat pertumbuhan, meskipun masih terlihat pertambahan tinggi batang dan jumlah daun. Namun untuk paparan Cd hambatan pertumbuhannya lebih terlihat dibandingkan pada paparan Pb.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

- Proses fitoforensik tergantung pada kemampuan tumbuhan terhadap pencemar, untuk *Acathus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*, tumbuhan mengalami kematian pada konsentrasi Pb 10.000 ppm dan Cd 400 ppm.
- Waktu yang dibutuhkan pencemar logam berat (Pb dan Cd) masuk dalam tumbuhan dan menyebabkan kematian 15 hari. Dimana pada reaktor uji berjumlah 5 individu mampu bertahan hidup dalam lingkungan tercemar logam berat (Pb dan Cd) lebih besar dibanding 3 individu.
- Tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) dan *Coix lacryma-jobi* (Jali) mampu megakumulasi logam Pb dan Cd terbesar pada bagian akar, dan berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator dengan nilai TF dan BCF > 1.
- Perpindahan dan penyerapan logam Pb terbesar pada tumbuhan *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) 3 individu di akar 8.958 ppm, batang 33,5 ppm dan daun 27,7 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.850 ppm, batang 119,6 ppm dan daun 44,5 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 237,2 ppm, batang 2,72 ppm dan daun 1,06 ppm, sedangkan 5 individu di akar 147,2 ppm, batang 4,2 ppm dan daun 3,26 ppm.
- Perpindahan dan penyerapan logam Pb terbesar pada tumbuhan *Coix lacryma-jobi* (Jali) 3 individu di akar 7.235 ppm, daun 250,7 ppm dan batang 149,2 ppm, sedangkan 5 individu di akar 8.197 ppm, daun 274,5 ppm dan batang 242,8 ppm. Untuk logam Cd pada 3 individu di akar 174,9 ppm, daun 6,81ppm dan batang 4,32 ppm, sedangkan 5 individu di akar 194,1 ppm, daun 18,1 ppm dan batang 2,93 ppm.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran yaitu:

- Diperlukan penelitian tentang kemampuan tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan/atau *Coix lacryma-jobi* dengan umur dan jumlah yang berbeda.
- Diperlukan penelitian tentang kemampuan tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan/atau *Coix lacryma-jobi* dengan zat pencemar logam berat yang lain.
- Diperlukan penelitian fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan/atau *Coix lacryma-jobi* terhadap zat pencemar baik organik maupun anorganik.
- Diperlukan penelitian fitoforensik lebih lanjut dengan melihat struktur dan anatomi jaringan tumbuhan *Acanthus ilicifolius* dan/atau *Coix lacryma-jobi*.



# LAMPIRAN 1, 2 & 3

## LAMPIRAN 1

### PROSEDUR PENGUKURAN

#### a. Perhitungan konsentrasi larutan logam berat

Limbah buatan logam berat timbal (Pb) dari  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

$$\text{Untuk Pb } 1000 \text{ ppm} = \left(\frac{331,2}{207,2}\right) \times 1000 \text{ mg} = 1,5984 \text{ gr/L}$$

Maka, untuk mendapatkan Pb 10.000 ppm dibutuhkan sebanyak 15,98 gram yang dilarutkan kedalam 1 Liter aquadest

Limbah buatan logam berat kadmium (Cd) dari  $\text{Cd}_3\text{O}_{12}\text{S}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

$$\text{Untuk Cd } 1000 \text{ ppm} = \left(\frac{769,51}{112,41}\right) \times 1000 \text{ mg} = 6,8455 \text{ gr/L}$$

Maka, untuk mendapatkan 400 ppm dibutuhkan sebanyak 2,738 gram yang dilarutkan kedalam 1 Liter aquadest

#### b. Analisa Konsentrasi Logam Berat

Prosedur preparasi sampel AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) untuk analisa sampel media tumbuh (air dan tanah) serta bagian tumbuhan (akar, batang dan daun), sebagai berikut:

Media Air:

1. Ambil 100 mL sampel, masukan dalam botol sampel.
2. Kemudian langsung diujikan.

Media Pasir:

1. Ambil 5 gr sampel, kemudian tambahkan 5 mL  $\text{HNO}_3$  pekat, lalu tambahkan aquadest sebanyak 20 mL.
2. Panaskan campuran larutan tersebut hingga kering.
3. Setelah kering tambahkan lagi dengan 5 mL  $\text{HNO}_3$  pekat dan aquadest 20 mL.
4. Saring larutan dalam labu ukur dan encerkan dengan aquadest hingga mencapai 50 mL.

Bagian Tumbuhan:

1. Ambil 1 gr sampel yang telah ditumbuk / diblender sampai halus.

2. Tambahkan 3 mL HNO<sub>3</sub> pekat, lalu tambahkan aquadest sebanyak 10 mL.
3. Panaskan campuran larutan tersebut hingga kering.
4. Setelah kering tambahkan lagi dengan 3 mL HNO<sub>3</sub> pekat.
5. Tambahkan aquadest lagi sampai 10 mL.
6. Saring dan encerkan larutan dalam labu ukur hingga mencapai 25 mL.

Cara uji logam berat dengan AAS sesuai dengan standard methods (Franson, 2005) dan SNI. Pengujian Pb mengacu SNI 6989.8:2009 dan pengujian Cd mengacu SNI 6989.16:2009.

**c. Analisa Morfologi Tumbuhan**

Analisa morfologis untuk mengetahui pertumbuhan tumbuhan yang dipapar pencemar dan yang tidak (Sitompul dan Guritno, 1995). Analisis dilakukan dengan mengukur tinggi tumbuhan, dan menghitung jumlah daun, serta mendeskripsikan kerusakan pada daun dan bagian tumbuhan lainnya.

**d. Analisa Biomassa Tumbuhan**

Pengukuran biomassa diperoleh dengan menimbang berat basah dan berat kering tumbuhan. Pengukuran berat basah tumbuhan dilakukan dengan mengambil tumbuhan dari media tanam, lalu dibersihkan untuk menghilangkan tanah, pasir dan air yang menempel pada permukaan tumbuhan. Selanjutnya ditimbang dengan menggunakan neraca analitik.

Pengukuran berat kering tumbuhan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Tumbuhan yang telah diambil dari media tanam, dikering anginkan.
2. Masukkan dalam oven selama 6 X 24 jam pada suhu 105°C.
3. Setelah kering, tumbuhan didinginkan dengan meletakkan ke dalam desikator selama 1 jam.
4. Kemudian tumbuhan ditimbang menggunakan neraca analitik.

Perhitungan kadar air (sap) dengan menggunakan persamaan

$$\text{Kadar air (sap)} = \text{BB} - \text{BK}$$

dimana BB = Berat basah

BK = Berat kering

(Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010)

## LAMPIRAN 2

### HASIL PENGAMATAN SUHU DAN KELEMBABAN

Tabel 1. Suhu media saat pengambilan sampel tumbuhan *Acanthus ilicifolius*

Reaktor Tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i>	Jam	Suhu Udara	Kelem baban	Suhu Media	Kelem baban	pH
Kontrol: Tumbuhan tanpa Pb, 3 individu (0a)	17.00	31,7	75	29	10	6
Kontrol: Tumbuhan tanpa Pb, 5 individu (0b)	17.00	31,7	75	29	10	6
Kontrol: Tumbuhan tanpa Cd, 3 individu (0c)	17.00	31,7	75	29	10	6,5
Kontrol: Tumbuhan tanpa Cd, 5 individu (0d)	17.00	31,7	75	29	10	6,5
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (3a)	17.00	30,8	70	29	2	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (3b)	17.00	30,8	70	29	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (3c)	17.00	30,8	70	29	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (3d)	17.00	30,8	70	29	8	6,5
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (3a)	17.00	30,8	70	29	2	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (3b)	17.00	30,8	70	29	6	6,5
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (3c)	17.00	30,8	70	29	4	6,5
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (3d)	17.00	30,8	70	29	4	7
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (2a)	11.00	33,5	73	30	9	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (2b)	11.00	33,5	73	30	9	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (2c)	11.00	33,5	73	30	9	5,5
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (2d)	11.00	33,5	73	30	9	5,5

Reaktor Tumbuhan <i>Acanthus ilicifolius</i>	Jam	Suhu Udara	Kelem- baban	Suhu Media	Kelem- baban	pH
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (2a)	11.00	33,5	73	30	9	5,5
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (2b)	11.00	33,5	73	30	9	5,5
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (2c)	11.00	33,5	73	30	9	5,5
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (2d)	11.00	33,5	73	30	9	5,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (1a)	15.00	31,1	81	29	9,5	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (1b)	15.00	31,1	81	29	6	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (1c)	15.00	31,1	81	29	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (1d)	15.00	31,1	81	29	8,5	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (1a)	15.00	31,1	81	29	9	6
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (1b)	15.00	31,1	81	29	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (1c)	15.00	31,1	81	29	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (1d)	15.00	31,1	81	29	9	6,5

Tabel 2. Suhu udara (rata-rata) di rumah kaca saat aklimatisasi tumbuhan *Acanthus ilicifolius* selama 4 bulan (November 2013 s/d Maret 2014)

Jam	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00
Suhu	27,60	27,40	28,00	30,12	32,67	34,92	37,74
Kelembaban	82,00	84,00	87,00	78,5	73,27	70,19	60,24
Jam	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Suhu	35,87	36,24	35,92	31,79	30,88	29,77	28,36
Kelembaban	63,83	64,89	60,11	68,44	72,13	75,22	81,08

Tabel 3. Suhu media saat pengambilan sampel tumbuhan *Coix lacryma-jobi*

Reaktor Tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i>	Jam	Suhu Udara	Kelem baban	Suhu Media	Kelem baban	pH
Kontrol: Tumbuhan tanpa Pb, 3 individu (0a)	09.00	29,6	87	28	10	6,5
Kontrol: Tumbuhan tanpa Pb, 5 individu (0b)	09.00	29,6	87	28	10	6,5
Kontrol: Tumbuhan tanpa Cd, 3 individu (0c)	09.00	29,6	87	28	10	6,5
Kontrol: Tumbuhan tanpa Cd, 5 individu (0d)	09.00	29,6	87	28	10	6,5
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (3a)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (3b)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (3c)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (3d)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (3a)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (3b)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (3c)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 15: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (3d)	09.00	33,6	76	32	4	7
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (2a)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (2b)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (2c)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (2d)	08.00	28,8	86	28	6	6

Reaktor Tumbuhan <i>Coix lacryma-jobi</i>	Jam	Suhu Udara	Kelem- baban	Suhu Media	Kelem- baban	pH
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (2a)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (2b)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (2c)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 10: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (2d)	08.00	28,8	86	28	6	6
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (1a)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (1b)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 3 individu (1c)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Pb, 5 individu (1d)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (1a)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (1b)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 3 individu (1c)	08.00	29,2	87	28	9	6,5
Hari 5: Tumbuhan dengan Cd, 5 individu (1d)	08.00	29,2	87	28	9	6,5

Tabel 4. Suhu udara (rata-rata) di rumah kaca saat aklimatisasi tumbuhan *Coix lacryma-jobi* selama 6 bulan (April s/d Oktober 2014)

Jam	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00
Suhu	29,30	29,18	28,31	29,78	32,66	34,61	35,64
Kelembaban	61,00	71,75	79,33	78,25	73,41	70,83	64,63
Jam	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Suhu	36,41	35,84	35,64	32,55	31,87	29,67	28,96
Kelembaban	64,85	65,80	62,50	69,22	71,04	73,82	79,75

Tabel 5. Suhu udara (rata-rata) di rumah kaca Teknik Lingkungan selama penelitian 11 bulan (November 2013 s/d Oktober 2014)

Jam	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00
Suhu	28,45	28,29	28,15	29,95	32,67	34,76	36,69
Kelembaban	71,50	77,88	83,17	78,38	73,34	70,51	62,43
Jam	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Suhu	36,14	36,04	35,78	32,17	31,37	29,72	28,66
Kelembaban	64,34	65,35	61,31	68,83	71,59	74,52	80,41



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### LAMPIRAN 3

#### HASIL PENGAMATAN MORFOLOGI TUMBUHAN

Tabel 1. Tinggi dan diameter tumbuhan *Acanthus ilicifolius* pada reaktor uji - Pb

Reaktor Uji - Pb	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
1a	T1	34	40	8	74	7,5
	T2	36	32	7	48	6
	T3	43	48	8,7	70	7
1b	T1	31	26	8,3	68	5
	T2	42	35	6,7	58	4
	T3	28	22	6,7	62	3,5
	T4	28	28	7,7	63	4,5
	T5	35	35	6,3	76	4,5
1c	T1	41	50	8,3	55	5,5
	T2	25	18	4,7	44	4
	T3	41	38	6,7	45	4
1d	T1	38	42	7,3	82	5
	T2	30	28	6,3	66	3
	T3	28	26	5,7	46	3
	T4	29	29	7,3	67	3,5
	T5	29	36	6	58	4,5
2a	T1	33	35	8	65	4,5
	T2	46	49	7,7	42	4,5
	T3	22	25	5,7	62	3
2b	T1	21	26	6	55	3
	T2	25	26	7	42	4,5
	T3	29	33	6,5	65	3
	T4	31	32	5,3	69	3
	T5	26	29	5,3	55	3
2c	T1	29	28	5,3	74	3
	T2	32	36	7,7	82	3,5
	T3	31	28	7	65	4
2d	T1	37	32	6,3	73	4,5
	T2	33	33	6,7	74	3,5
	T3	31	24	6,5	76	3
	T4	22	20	4,3	60	3,5
	T5	43	45	7	42	4,5

Reaktor Uji - Pb	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
3a	T1	45	52	6	62	4
	T2	42	38	7,3	53	3
	T3	29	28	7,7	56	2,5
3b	T1	41	48	7	56	4
	T2	33	36	8,5	54	5,5
	T3	26	31	7,3	67	3,5
	T4	25	28	6,7	65	3
	T5	31	33	5,7	53	2,5
3c	T1	26	29	6	68	2,5
	T2	42	42	6,5	76	4
	T3	29	34	7,3	73	4
3d	T1	28	35	6,7	60	3
	T2	28	34	7,5	56	2
	T3	22	26	6	64	3,5
	T4	30	34	6,7	62	3,5
	T5	26	30	6	67	2,5

Tabel 2. Tinggi dan diameter tumbuhan *Acanthus ilicifolius* pada reaktor uji - Cd

Reaktor Uji - Cd	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
1a	T1	55	54	8,5	55	4,5
	T2	42	38	10	70	4,5
	T3	43	39	7,7	58	4,5
1b	T1	48	44	7	82	5
	T2	36	30	8	52	5
	T3	34	37	7,5	75	3
	T4	22	20	5,3	25	3
	T5	29	30	6	42	4
1c	T1	22	18	7,3	60	3,5
	T2	33	27	6	62	5
	T3	48	44	7,3	62	4,5
1d	T1	39	32	8,5	60	5
	T2	32	36	9	50	5
	T3	36	30	6,5	54	3,5
	T4	20	17	5	58	3
	T5	31	27	5,7	64	5

Reaktor Uji - Cd	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
2a	T1	27	28	7	70	5
	T2	34	35	7,5	50	5
	T3	32	32	9,5	70	5
2b	T1	31	33	7	65	4,5
	T2	29	26	7,3	75	5
	T3	38	40	8	88	4
	T4	33	31	7,3	75	3,5
	T5	30	30	6	75	4,5
2c	T1	24	26	8	55	3
	T2	46	57	9,5	55	4
	T3	30	32	6,7	40	4
2d	T1	46	60	9,7	65	6
	T2	23	31	10	42	5,5
	T3	29	31	5,3	58	3
	T4	27	29	6,3	60	3
	T5	21	31	7	68	3,5
3a	T1	31	24	5,3	45	2
	T2	34	40	5,3	55	2
	T3	28	31	6	68	2
3b	T1	40	41	7	68	4
	T2	41	50	6,7	72	5
	T3	32	34	9,5	51	4
	T4	28	26	6	46	3
	T5	32	37	6,7	53	4
3c	T1	30	38	8	45	4
	T2	36	38	5,3	70	3,5
	T3	49	65	8	85	4
3d	T1	30	40	6	60	4
	T2	19	18	7,3	38	4,5
	T3	23	23	7,7	60	2
	T4	22	22	5,3	45	3
	T5	23	36	7,3	58	2,5

Tabel 3. Tinggi dan diameter tumbuhan *Coix lacryma-jobi* pada reaktor uji - Pb

Reaktor Uji - Pb	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
1a	T1	46	50	0,7	35	0,3
	T2	48	56	0,4	27	0,2
	T3	35	44	0,4	28	0,2
1b	T1	36	42	0,3	30	0,2
	T2	30	34	0,3	30	0,1
	T3	38	39	0,8	27	0,3
	T4	35	43	0,2	23	0,1
	T5	38	40	0,4	30	0,1
1c	T1	40	40	0,7	30	0,3
	T2	30	33	0,4	21	0,1
	T3	32	36	0,2	15	0,1
1d	T1	42	50	0,4	40	0,2
	T2	38	47	0,4	25	0,1
	T3	50	60	0,5	39	0,2
	T4	20	24	0,5	32	0,2
	T5	24	35	0,3	30	0,1
2a	T1	41	50	0,4	37	0,2
	T2	33	42	0,3	42	0,5
	T3	20	30	0,6	40	0,2
2b	T1	38	42	0,4	30	0,1
	T2	37	40	0,3	24	0,1
	T3	42	50	0,3	23	0,1
	T4	38	47	0,6	44	0,2
	T5	33	42	0,3	28	0,1
2c	T1	35	41	0,3	32	0,1
	T2	38	43	0,5	35	0,2
	T3	32	40	0,3	30	0,1
2d	T1	32	41	0,2	35	0,1
	T2	44	46	0,3	30	0,1
	T3	46	53	0,8	48	0,2
	T4	18	21	0,4	22	0,1
	T5	28	32	0,3	19	0,1

Reaktor Uji - Pb	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
3a	T1	38	45	0,6	30	0,2
	T2	22	29	0,2	22	0,1
	T3	41	52	0,4	33	0,1
3b	T1	34	48	0,5	42	0,1
	T2	38	45	0,6	36	0,2
	T3	34	45	0,3	28	0,1
	T4	30	48	0,3	27	0,1
	T5	25	45	0,3	38	0,1
3c	T1	24	32	0,4	30	0,1
	T2	37	52	0,7	34	0,2
	T3	30	44	0,5	28	0,1
3d	T1	21	32	0,4	30	0,1
	T2	32	42	0,4	44	0,1
	T3	22	32	0,3	22	0,1
	T4	28	36	0,3	30	0,1
	T5	26	38	0,4	35	0,1

Tabel 4. Tinggi dan diameter tumbuhan *Coix lacryma-jobi* pada reaktor uji - Cd

Reaktor Uji - Cd	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
1a	T1	55	58	0,5	40	0,2
	T2	60	66	0,7	40	0,2
	T3	50	52	0,2	25	0,1
1b	T1	35	36	0,3	23	0,2
	T2	36	37	0,3	27	0,1
	T3	41	42	0,3	36	0,1
	T4	42	45	0,9	60	0,2
	T5	32	33	0,2	25	0,1
1c	T1	33	37	0,3	21	0,1
	T2	40	54	0,3	30	0,2
	T3	48	40	0,7	35	0,2
1d	T1	40	43	0,4	38	0,2
	T2	32	34	0,3	18	0,1
	T3	43	45	0,4	30	0,1
	T4	50	55	0,7	40	0,2
	T5	43	45	0,3	33	0,1

Reaktor Uji - Cd	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan	Panjang Akar	Diameter Akar
2a	T1	35	35	0,2	32	0,1
	T2	38	38	0,2	40	0,1
	T3	38	38	0,7	60	0,3
2b	T1	15	16	0,2	22	0,1
	T2	27	31	0,6	40	0,2
	T3	39	40	0,5	41	0,2
	T4	55	60	0,5	51	0,2
	T5	28	33	0,3	33	0,2
2c	T1	48	54	0,5	34	0,2
	T2	38	44	0,5	40	0,2
	T3	13	14	0,2	14	0,1
2d	T1	33	34	0,3	30	0,2
	T2	48	50	0,7	30	0,2
	T3	35	38	0,3	38	0,2
	T4	23	25	0,3	30	0,1
	T5	28	34	0,3	40	0,1
3a	T1	46	50	0,5	35	0,2
	T2	24	20	0,3	10	0,1
	T3	38	51	0,5	40	0,2
3b	T1	40	47	0,3	36	0,1
	T2	43	48	0,4	35	0,1
	T3	50	48	0,5	26	0,1
	T4	32	44	0,3	25	0,1
	T5	24	44	0,3	30	0,1
3c	T1	37	45	0,6	50	0,2
	T2	43	50	0,4	46	0,2
	T3	44	50	0,4	45	0,1
3d	T1	25	25	0,2	15	0,1
	T2	36	37	0,3	40	0,1
	T3	42	55	0,8	52	0,2
	T4	10	15	0,3	22	0,1
	T5	25	30	0,3	28	0,1

Tabel 5. Tinggi dan diameter tumbuhan *Acanthus ilicifolius* pada reaktor kontrol

Reaktor Kontrol	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan
0a	T1	29	22	6,3
	T2	32	40	8
	T3	23	34	6,3
0b	T1	27	33	6
	T2	27	38	5,7
	T3	22	39	6,7
	T4	25	36	7
	T5	25	35	7
0c	T1	49	69	7,3
	T2	31	47	6
	T3	23	43	5,7
0d	T1	35	40	8
	T2	34	42	6
	T3	31	42	6,3
	T4	31	43	5,7
	T5	23	45	6

Tabel 6. Tinggi dan diameter tumbuhan *Coix lacryma-jobi* pada reaktor kontrol

Reaktor Kontrol	Individu Tumbuhan	Tinggi Awal	Tinggi Akhir	Diameter Tumbuhan
0a	T1	17	50	0,6
	T2	45	86	0,5
	T3	36	100	0,5
0b	T1	32	88	0,5
	T2	30	40	0,2
	T3	17	25	0,6
	T4	19	52	0,5
	T5	35	90	0,7
0c	T1	36	88	0,5
	T2	36	45	0,3
	T3	24	70	0,4
0d	T1	33	64	0,4
	T2	30	50	0,4
	T3	33	70	0,4
	T4	27	50	0,3
	T5	28	63	0,5



Tabel 7. Jumlah daun tumbuhan *Acanthus ilicifolius* pada reaktor uji - Pb

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1a	T1	8	8	8	8	8	8										
	T2	11	11	11	11	11	11										
	T3	15	15	15	15	15	15										
1b	T1	6	6	6	6	6	6										
	T2	9	9	9	9	9	9										
	T3	10	10	10	9	9	9										
	T4	11	11	11	11	11	11										
	T5	6	6	6	6	6	8										
1c	T1	13	13	13	13	13	15										
	T2	9	9	9	7	7	7										
	T3	17	17	17	17	17	17										
1d	T1	13	13	13	13	13	13										
	T2	9	9	9	9	9	9										
	T3	12	12	12	12	12	12										
	T4	14	14	14	14	14	14										
	T5	13	13	13	13	13	13										
2a	T1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					
	T2	16	16	16	16	18	18	18	18	18	23	23					
	T3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
2b	T1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15				
	T2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
	T3	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8				
	T4	9	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	11				
	T5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12				
2c	T1	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	17				
	T2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	19				
	T3	6	6	6	6	4	2	1	0	0	0	0	0				
2d	T1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	17				
	T2	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
	T3	4	4	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5				
	T4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8				
	T5	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9				
3a	T1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	16	16	16	16
	T2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	14	14
	T3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	19	19	19
3b	T1	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	12	10
	T2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	T3	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12
	T4	14	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10
	T5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3c	T1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	T2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	12	12
	T3	12	12	12	11	11	11	11	11	13	13	13	13	13	13	15	15
3d	T1	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9
	T2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	T3	8	8	8	10	10	10	10	10	10	12	12	14	14	14	12	12
	T4	12	12	12	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14	12	16	16
	T5	14	14	14	14	14	14	14	14	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 8. Jumlah daun tumbuhan *Acanthus ilicifolius* pada reaktor uji - Cd

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1a	T1	12	12	12	12	12	14										
	T2	10	10	10	10	10	10										
	T3	9	9	9	9	9	9										
1b	T1	12	12	12	12	12	11										
	T2	7	7	7	7	7	7										
	T3	5	5	5	3	3	3										
	T4	6	6	6	6	6	6										
	T5	16	16	16	16	16	16										
1c	T1	10	10	10	9	9	9										
	T2	15	15	15	14	13	13										
	T3	13	13	13	13	10	10										
1d	T1	8	8	8	8	8	8										
	T2	8	8	8	8	8	8										
	T3	9	9	9	9	9	9										
	T4	10	10	10	10	10	10										
	T5	17	17	17	17	17	17										
2a	T1	9	9	8	8	8	8	8	7	7	6	5					
	T2	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	6					
	T3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
2b	T1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					
	T2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8					
	T3	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7					
	T4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					
	T5	12	12	12	16	16	16	16	16	16	16	16					
2c	T1	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13					
	T2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10					
	T3	14	13	13	12	12	12	12	12	12	16	16					
2d	T1	18	18	18	17	17	16	16	16	16	16	15					
	T2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9					
	T3	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10					

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3a	T4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
	T5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16					
	T1	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	13	13	13	13	13	13
	T2	16	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20	20	20	20	20	20
	T3	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	15	15	15	15	14	14
3b	T1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	6	6
	T2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	7	7
	T3	9	9	9	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10
	T4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6
3c	T5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10
	T1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	T2	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	T3	17	17	17	17	17	17	17	17	19	19	19	19	19	19	19	19
3d	T1	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	6	6	6
	T2	16	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12	12	12	10	9	8
	T3	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	7	6	4
	T4	14	14	14	16	16	16	16	16	16	14	14	10	10	4	4	2
	T5	16	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	14	7	7	7

Tabel 9. Jumlah daun tumbuhan *Coix lacryma-jobi* pada reaktor uji - Pb

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1a	T1	8	9	10	10	11	11										
	T2	12	12	12	12	12	12										
	T3	13	13	13	13	14	14										
1b	T1	8	10	11	11	11	11										
	T2	9	9	10	10	11	11										
	T3	8	8	9	9	10	10										
	T4	8	8	9	9	10	10										
	T5	9	9	10	10	11	11										
1c	T1	8	8	8	9	10	10										
	T2	11	11	11	12	12	12										
	T3	10	10	10	10	11	11										
1d	T1	17	17	17	17	18	18										
	T2	10	10	10	10	11	11										
	T3	14	16	17	18	20	20										
	T4	5	5	6	6	6	6										
	T5	9	10	12	12	12	12										
2a	T1	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
	T2	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7					
	T3	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8					

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2b	T1	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9					
	T2	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	8					
	T3	8	8	9	9	9	9	10	9	11	11	11					
	T4	7	7	9	9	9	9	10	9	10	10	10					
	T5	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10					
2c	T1	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9					
	T2	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9					
	T3	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11	11					
2d	T1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
	T2	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11					
	T3	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
	T4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
	T5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
3a	T1	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	T2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	T3	8	8	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
3b	T1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8
	T2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8
	T3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8
	T4	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8
	T5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3c	T1	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	T2	7	7	7	7	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10
	T3	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7
3d	T1	6	6	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
	T2	8	8	8	8	8	10	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	T3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7
	T4	6	6	6	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
	T5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabel 10. Jumlah daun tumbuhan *Coix lacryma-jobi* pada reaktor uji - Cd

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1a	T1	17	17	17	17	18	18										
	T2	10	10	10	10	11	11										
	T3	8	9	10	10	10	10										
1b	T1	8	8	9	9	10	10										
	T2	8	8	9	9	9	9										
	T3	12	12	13	13	13	13										
	T4	10	10	10	10	10	10										
	T5	8	8	8	9	10	10										

Reaktor	Tumb	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1c	T1	7	7	7	7	7	7										
	T2	10	11	12	12	12	12										
	T3	9	9	9	9	9	9										
1d	T1	15	15	15	15	16	16										
	T2	7	7	8	8	8	8										
	T3	10	10	10	10	10	10										
	T4	8	8	9	9	9	9										
	T5	9	9	9	9	9	9										
2a	T1	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6					
	T2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
	T3	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
2b	T1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
	T2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
	T3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
	T4	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					
	T5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
2c	T1	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11					
	T2	10	10	11	11	10	10	10	10	10	10	10					
	T3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
2d	T1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7					
	T2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7					
	T3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
	T4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6					
	T5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6					
3a	T1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	T2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	T3	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
3b	T1	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	T2	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	T3	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
	T4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	T5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
3c	T1	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	T2	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	T3	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10
3d	T1	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	T2	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	T3	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	T4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	T5	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. (2004). Kimia Lingkungan. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Ali, H., E. Khan dan M.A. Sajad. (2013). Phytoremediation of Heavy Metals – concepts and applications. *Chemosphere* 91 : 869-881
- Allowey, B.J. dan D.C. Ayres. (1997). Chemical Principles of Environmental Pollution. 2nd Edition. Blackie Academic and Profesional Chapman and Hill. London.
- Amriani. (2011). Bioakumulator Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L.) dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) di Perairan Teluk Kendari. Tesis Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Backer, C.A. dan R.C. Bakhuizen. (1963). Flora of Java. The Rijksherbarium. Netherlands.
- Baker, A.J.M. dan R.R. Brooks. (1989). Terrestrial Higher Plants Which Hyper Accumulate Metallic Elements-A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery*, 1: 81-126.
- Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr. (United States)*. 3: 1-4.
- Barman, S.C., R.K. Sahu, S.K. Bhargava dan C. Chatterjee. (2000). Distribution of Heavy Metals in Wheat, Mustard and Weed Grains Irrigated with Industrial Effluents. *Bull. Environ. Conta. Toxicol.*, 64: 489-496.
- Baumgarten, A dan S. Heide. (2004). Phytotoxicity (Plant Tolerance). Agency for Health and Food Safety, Vienna.
- Burken, J.G., D.A. Vroblesky, dan J.C. Balouet. (2011). Phytoforensics, Dendrochemistry, and Phytoscreening: New Green Tools for Delineating Contaminants from Past and Present. *Environmental Science and Technology*. 45: 6218-6226.
- Connell, D.W dan G.J Miller. (1995). Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran. Diterjemahkan oleh Yanti Koestoer. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

- Cunningham, S.D. dan W.R. Berti. (1993). Remediation of Contaminated Solid With Green Plants: an overview. In *Vitro Cell. Dev. Biol.* 29: 207-212.
- Dahlan, E.N. (1986). Pencemaran Daun Teh oleh Timbal Sebagai Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di Gunung Mas Puncak. Makalah Kongres Ilmu Pengetahuan Indonesia, Panitia Nasional MAB, Jakarta.
- Darmono. (1995). Logam Dalam Sistem Biologi MakhluK Hidup. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Darmono. (2006). Lingkungan Hidup dan Pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Erakhrumen dan A. Agbontalor. (2007). Review Phytoremediation: an environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation in developing countries. *Educational Research and Review*. Vol. 2 (7):151-156.
- Franson, M.A.H., (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21st Edition. American Public Health Association. Washington.
- Grubben, G.J.H. dan S. partohardjono. (1996). Plant Resources of South-East Asia No. 10: Cereal. PROSEA Foundation, Bogor.
- Hardiani, H. (2009). Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *Bioscience*. Vol 44. (1):27-40.
- Haryati, M., T. Purnomo, dan S. Kuntjoro. (2012). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis Flava* (L.) Buch.) Menyerap Logam Berat Timbal (Pb) Limbah Cair Kertas pada Biomassa dan Waktu Pemaparan Yang Berbeda. *Lateral Bio* Vol. 1 No. 3.
- Heriyanto, N.M dan S. Endro. (2011). Penyerapan Polutan Logam Berat (Hg, Pb dan Cu) oleh Jenis-Jenis Mangrove. Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi.
- Hester, R.E. dan R.M. Harrison. (2008). *Environmental Forensics*. RSC Published. Cambridge.
- Heyne, K. (1987). Tumbuhan Berguna Indonesia. Departemen Kehutanan. Jakarta.

- Hidayat, S. Yuzammi, Hartini, S. Astuti, I.P. (2004). Tanaman Air Kebun Raya Bogor Vol.1 No.5. Bogor.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bogor. Vol. 12: 35-40.
- Hindersah, H., M.A. Kalag dan S.B. Muntalif. (2004). Akumulasi Pb dan Cd Pada Buah Tomat Yang Ditanam Di Tanah Mengandung Lumpur Kering Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik. Teknik Lingkungan ITB. Bandung.
- Irawanto, R. (2009). Inventarisasi Koleksi Tanaman Air Berpotensi WWG di Kebun Raya Purwodadi. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Lingkungan IV – ITS Surabaya: 228-238.
- Irawanto, R. (2013<sup>a</sup>). Pengembangan Laboratorium Biji Kebun Raya Purwodadi Melalui Studi Pengelolaan Pada Instansi Penelitian Terkait. Prosiding Seminar Biologi UNESA. Surabaya: 1-8.
- Irawanto, R. (2013<sup>b</sup>). Pemetaan Hidrofit dan Potensi Fitoremediator Koleksi Kebun Raya Purwodadi. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah – ITS. Surabaya: G11-G20.
- Irawanto, R. (2013<sup>c</sup>). Kajian Biodiversitas dan Fitoremediasi Tumbuhan Air di Kampus ITS Surabaya. Prosiding Seminar Nasional Pasca Sarjana XIII – ITS. Surabaya: 438-443.
- Irawanto, R. (2014<sup>a</sup>). Inventarisasi Jenis Tumbuhan dan Kemampuannya Terhadap Pencemar Logam Berat Pb dan Cd. Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana XIV – ITS. Surabaya.
- Irawanto, R. (2014<sup>b</sup>). Seleksi Tumbuhan Akuatik Koleksi Kebun Raya Purwodadi dalam Fitoteknologi Lingkungan. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains – UNESA. Surabaya.
- Irwan A., Noer K., Yenny E. (2008). Kajian Penyerapan Logam Cd, Ni, dan Pb Dengan Variasi Konsentrasi Pada Akar, Batang dan Daun Tanaman Bayam. FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.



- ITRC. (2001). Technical and Regulatory Guidance Document. Phytotechnology. Interstate Technology Regulatory Council. Diakses dari <http://www.itrcweb.org> tanggal 04 Oktober 2013.
- Kadlec, R.H. dan S. Wallace. (2009). Treatment Wetland. CRC Press. New York.
- Knox, A.S., J. Seaman, D.C. Andriano, dan G. Pierzynski. (2000). Chemostabilization of metals in contaminated soils. Di dalam: Wise DL, Trantolo DJ, Cichon EJ, Inyang HI, Stottmeister U (ed). Bioremediation of Cotaminated Soils. New York: Marcek Dekker Inc: 811-836
- Kusrijadi. A., A. Mudzakir dan S.S. Fatima. (2013). Peningkatan Kualitas Sanitasi Lingkungan Berbasis Fitoremediasi. Diakses dari [http://jurnal.upi.edu/file/Ali\\_K1.pdf](http://jurnal.upi.edu/file/Ali_K1.pdf) tanggal 04 Oktober 2013.
- Landis, W.G., R.M. Sofield, dan M.H. Yu. (2011). Introduction to Environmental Toxicology: Molecular Substructures and Ecological Landscapes. CRC Press. New York.
- Lelifajri. (2010). Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Gergaji. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Vol. 7, No. 3: 126-129.
- Lestarini, W., D. Narko dan A. Suprpto. (2012). An Alphabetical List of Plant Species Cultivated in Purwodadi Botanic Garden. Pasuruan: Kebun Raya Purwodadi – LIPI.
- Limmer, M.A., J.C. Balouet, F. Karg, D.A. Vroblesky, dan J.G. Burken. (2011). Phytoscreening for Chlorinated Solvents Using Rapid in Vitro SPME Sampling: Application to urban Plume in Verl, Germany. Environmental Science and Technology. 45: 8276-8282.
- Liu, D., W. Jiang, C. Liu, C. Xin, dan W. Hou. (2000). Uptake and Accumulation of Lead by Root, Hypocotyls and Shoots of Indian Mustard (*Brassica juncea* (L.)). Bioresource Technology. 71: 273-277.
- Ludwig, A. (2007). Create an Oasis with Greywater. Oasis Design. California.
- Mangkoedihardjo, S. dan G. Samudro. (2009). Ekotoksikologi Teknosfer. Guna Widya. Surabaya
- Mangkoedihardjo, S. dan G. Samudro. (2010). Fitoteknologi Terapan. Graha Ilmu. Yogyakarta

- Neis, U. dan A. Bittner. (1989). Memanfaatkan Air Limbah. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Niu, Z., L. Sun, T. Sun, Y. Li dan H. Wang. (2007). Evaluation of Phytoextracting Cadmium and Lead by Sunflower, Ricinus, Alfalfa and Mustard in Hydroponic Culture. *Journal of Environmental Sciences*. 19 : 961-967.
- Ogbo, E. M., Mary Z., Gloria O. (2009). The Effect of Crude Oil on Growth of The Weed (*Paspalum scrobiculatum* L.) – Phytoremediation Potential of The Plant. *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 3 (9): 229-233.
- ORD. (2010). Introduction of Phytoremediation. Office of Research and Development - U.S. Environmental Protection Agency. Ohio.
- Palar, H. (1994). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
- Prasad, M.N.V dan H.M.O. Freitas. (2003). Metal Hyperaccumulation in Plants – Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Jurnal Biotechnology* Vol. 6 No. 3
- Priyanto B., dan J. Prayitno. (2004). Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. *Jurnal Informasi Fitoremediasi*
- Rahmawati, C.O.D. (2014). Fitoforensik Logam Berat Timba (Pb) dan Tembaga (Cu) Pada Tumbuhan Krokot (*Portulaca grandiflora*) dan Kacang Hias (*Arachis pitoi*). Tesis. Teknik Lingkungan. ITS. Surabaya.
- Raskin, I., P.B.A.N. Kumar, S. Dishenkov dan D. Salt. (1994). Bioconcentration of Heavy Metal by Plants. *Current opinion, Biotechnology*. (5): 285-290.
- Rodriguez, L., F.J. Lopez-Bellido, A. Carnicer, F. Recreo, A. Tallos, dan J.M. Monteaguda. (2005). Mercury Recovery from Soils by Phytoremediation. *Book of Environmental Chemistr. Publishers: Springer. Berlin Heidelberg*.
- Rotard, O.H.W., S. Trapp dan R. Desi. (2011). Guide to Phytoscreening – Using tree core sampling and chemical analyses to investigate contamination in the ground water and soil. *Helmholtz Centre for Environmental Research. Jerman*.

- Sabo, A. dan M. Ladan. (2014). Phytoremediation Potential of Some Indigenous Herbaceous Plant Species Growing on Metalliferous Mining Site at Nahuta, Bauchi State, Nigeria. Proceeding of The ICOEST-SIDE. Turkey : 747-755
- Salisbury, F.B. dan C.W. Ross. (1995). Fisiologi Tumbuhan. Jilid I. Penerbit ITB. Bandung.
- Singh R., D.P. Singh, Narendra K., S.K. Bhargava, dan S.C. Barman. (2010). Accumulation and Translocation of Heavy Metals in Soil and Plants From Fly Ash Contaminated Area. Journal of Environmental Biology.
- Siswanto, D. (2009). Respon Pertumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Jagung (*Zea mays* L.) dan Kacang Tolo (*Vigna sinensis* L.) terhadap Pencemar Timbal (Pb). Universitas Brawijaya: Malang.
- Sitompul, S.M. dan B. Guritno. (1995). Analisis Pertumbuhan Tanaman. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soemirat, J. (2003). Toksikologi Lingkungan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sorek, A. Atzmon, N. Dahan, O. Gerstl, Z. Kushisin, L. Laor, Y. Mingelgrin, U. Nasser, A. Ronen, D. Tsechansky, L. Weisbrod, N. Graber, E. R. (2008). Phytoscreening : The use of trees for discovering subsurface contamination. VOCs. Environ. Sci. Technol. 42(2): 536–542.
- Tanaka, N., W.J. Ng dan K.B.S.N. Jinadasa. 2011. Wetlands For Tropical Applications: Wastewater Treatment by Constructed Wetlands. Imperial College Press. London
- Tangahu, B.V., S.R.S. Abdullah, H. Basri, M. Idris, N. Anwar, dan M. Mukhlisin. (2011). Review Article on Heavy Metal (As, Pb and Hg) Uptake By Plant Throught Phytoremediation. Jurnal of Chemical Enginnering. Malaysia.
- UNEP. (2003). Phytotechnologies Freshwater Management Series No. 7. United Nations Environmental Programme. Diakses dari <http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Freshwater/FMS7/5.asp> tanggal 04 Oktober 2013.

- vanValkenberg, J.L.C.H. dan Bunyaphatsara. (2002). Plant Resources of South-East Asia No. 20(2): Medical and Poisoning Plant 2. PROSEA Foundation, Bogor.
- Wang, L.K., J.P. Chen, Y.T. Hung dan N.K. Shamma. (2009). Heavy Metals in the Environment. CRC press. New York.
- Widowati, W., A. Sastiono, dan R.J. Ramampuk. (2008). Efek Toksik Logam: Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou dan L. Q. Ma (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment. Vol. 368 : 456–464.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BIOGRAFI & PUBLIKASI

## BIOGRAFI PENULIS

**Rony Irawanto**, lahir pada tanggal 8 Januari 1978 di kota Surabaya, ibu kota Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal dijalani di kota Surabaya, mulai SD Negeri Kalisari II (1984-1990), SMP Negeri 6 (1990-1993), SMA Negeri 3 (1993-1996) dan menempuh S1 di Universitas Airlangga (UNAIR). Pendidikan sarjana (S1) ditempuh pada Jurusan Biologi FMIPA - UNAIR dan lulus pada tahun 2000. Selain tekun dalam belajar selama mahasiswa S1, penulis juga aktif dalam organisasi kampus. Organisasi yang pernah diikuti adalah: himpunan mahasiswa biologi, senat mahasiswa fmipa, badan legislatif mahasiswa fmipa, dan keluarga besar mahasiswa unair, serta unit kegiatan mahasiswa unair.



Setelah lulus S1 penulis mendapat pengalaman di dunia kerja, mulai dari buruh pabrik pada beberapa perusahaan swasta sebagai QC (*quality control*) mikrobiologi, juga pernah menangani WT (*water treatment*) dan WWT (*waste water treatment*). Kemudian menjadi tenaga harian pada salah satu instansi pemerintah. Tugas yang pernah dikerjakan adalah: bioassessment kualitas air sungai, kesekretariatan komisi penilai AMDAL Provinsi, assesor laboratorium lingkungan di Jatim dan pernah tergabung dalam tim monitoring kualitas sungai Brantas kerjasama dengan Jerman serta tim sanitasi lingkungan dan air bersih di Jawa Timur kerjasama dengan Uni Eropa.

Mulai tahun 2006 penulis diterima di **Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)** sebagai tukang kebun, sampai dengan sekarang. Tugas utamanya melakukan penelitian dan konservasi tumbuhan tropis Indonesia dengan bidang kepakaran biologi konservasi. Selain aktif dalam forum ilmiah, organisasi profesi terkait biodiversitas dan penelitian konservasi tumbuhan, penulis juga menjadi kader konservasi dan aktivis dalam perlindungan hutan dan satwa liar.

Keinginan yang kuat untuk mengembangkan ilmu dasar yang dimiliki dengan penerapan teknologi yang ramah lingkungan mengantarkan penulis kembali ke bangku kuliah dengan mengambil S2 Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012, dengan Program **Karyasiswa Kementerian Riset dan Teknologi**.

Informasi lebih mengenai penulis dapat dicari pada website, seperti :



<http://sivitas.lipi.go.id/rony001/>



[https://www.researchgate.net/profile/Rony\\_Irawanto/](https://www.researchgate.net/profile/Rony_Irawanto/)



<http://scholar.google.com/citations?user=IoHHYuQAAAAJ&hl=en>

Penulis juga dapat dihubungi melalui:



[rony001@lipi.go.id](mailto:rony001@lipi.go.id), [irawanto12@mhs.enviro.its.ac.id](mailto:irawanto12@mhs.enviro.its.ac.id), [biory96@yahoo.com](mailto:biory96@yahoo.com)



081332669932



to\_rony



irawan to rony

Selama menempuh kuliah S2, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan ilmiah berupa pelatihan, konferensi dan seminar baik nasional maupun internasional. Selain itu penulis juga pernah menjadi dosen tamu di Biologi UB, maupun sebagai narasumber dalam talkshow di beberapa tempat terkait bidang konservasi tumbuhan, keanekaragaman hayati maupun fitoteknologi. Beberapa publikasi yang dihasilkan selama kuliah, semata-mata sebagai dasar dalam menambah pengetahuan terkait matakuliah maupun tesis.

Sehingga tesis yang berjudul **“Fitoforensik Logam Berat Pb (Timbal) dan Cd (Kadmium) pada Tumbuhan Akuatik Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*) koleksi Kebun Raya Purwodadi”** diibaratkan sebagai payung penelitian besar yang terdiri dari beberapa penelitian sederhana yang telah disusun dalam karya tulis ilmiah (KTI). Hal ini dilakukan karena keterbatasan pustaka / referensi terkait jenis yang digunakan dalam tesis ini. Sampai dengan lulus S2, tercatat 22 KTI yang dipublikasikan, yaitu:

1. Pemanfaatan Tumbuhan dalam Pengendalian Lingkungan.
2. Kajian Potensi Keanekaragaman Hayati di Kawasan Kampus ITS Surabaya.
3. Study of Plants Selection in Wastewater Garden for Domestic Waste Water Treatment.
4. Pemetaan Hidrofit dan Potensi Fitoremediator Koleksi Kebun Raya Purwodadi.
5. Kajian Pemanfaatan Makrofit untuk Pengolahan Limbah Cair Domestik.
6. Kajian Biodiversitas dan Fitoremediasi Tumbuhan Air di Kampus ITS Surabaya
7. Plant Diversity for Environmental Problem Solution.
8. Seleksi Tumbuhan Akuatik Koleksi Kebun Raya Purwodadi dalam Fitoteknologi Lingkungan.
9. Sea holy (*Acanthus ilicifolius*) Viability Test on Heavy Metal: Lead (Pb) and Cadmium (Cd).
10. Kemampuan Tumbuhan Akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) terhadap Logam Berat (Pb dan Cd).
11. Inventarisasi Jenis Tumbuhan dan Kemampuannya terhadap Pencemar Logam Berat Pb dan Cd.
12. Pemanfaatan *Acanthus ilicifolius* sebagai Tumbuhan Obat dan Pangan Olahan.
13. Potensi *Coix lacryma-jobi* sebagai Tumbuhan Obat dan Makanan Kesehatan.
14. Phytomonitoring Heavy Metal Pb and Cd from *Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi* in Natural Habitat.
15. Perbanyakan dan Pertumbuhan *Acanthus ilicifolius* sebagai Fitoteknologi Lingkungan.
16. Koleksi dan Sebaran *Coix lacryma-jobi* di Kebun Raya Purwodadi.
17. Phytomedicine of *Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi*.
18. Perbanyakan dan Pertumbuhan *Coix lacryma-jobi* sebagai Fitoteknologi Lingkungan.
19. Persebaran *Acanthus ilicifolius* sebagai Fitoindikator Kawasan Mangrove Pantai Timur Surabaya.
20. Pengaruh Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*).
21. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Coix lacryma-jobi* (Jali).
22. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Acanthus ilicifolius* (Jeruju).



## KUMPULAN ABSTRAK PUBLIKASI

(5 publikasi terkait tesis)

Judul : **Kemampuan Tumbuhan Akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*) terhadap Logam Berat (Pb dan Cd).**

Penulis : Rony Irawanto<sup>1</sup>

Publikasi dalam : Seminar Nasional Pascasarjana XIV

Tempat/Tanggal : Surabaya, 7 Agustus 2014

Penyelenggara : Pascasarjana - ITS

### **Abstrak :**

Pertambahan penduduk dan perkembangan pembangunan mengakibatkan peningkatan aktivitas di berbagai sektor, baik sektor industri, pemukiman, pertanian, dan sektor lainnya. Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan seringkali menghasilkan bahan pencemar yang dapat mengganggu dan membahayakan lingkungan. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kematian. Logam berat yang bersifat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan, adalah Pb (timbal) dan Cd (kadmium). Konsep yang memusatkan peran tumbuhan sebagai teknologi alami untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam fitoproteksi, fitoremediasi, fitomonitoring dan fitoforensik pencemaran lingkungan. Jenis tumbuhan lokal, yang ditemukan liar di alam dan kurang digali potensinya adalah *Acanthus ilicifolius* (druju) dan *Coix lacryma-jobi* (jali). Jenis ini termasuk tumbuhan akuatik yang berada pada perairan yang mengalami pencemaran. *Acanthus ilicifolius* ditemukan pada perairan estuari (hilir) yang merupakan muara dari limbah industri dan perkotaan. Sedangkan *Coix lacryma-jobi* ditemukan pada daerah riparian (hulu) sungai dimana perairan tersebut dapat tercemar oleh limbah pertanian dan domestik. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan tumbuhan akuatik *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* terhadap logam berat Pb dan Cd. Penelitian dilakukan di rumah kaca TL-ITS pada skala laboratorium dan menggunakan metode RFT (*Range Finding Test*). Pengamatan morfologi tumbuhan dilakukan selama dua minggu (14 hari), terhadap variasi konsentrasi Pb dan Cd, dengan tiga kali ulangan. Hasil RFT diketahui konsentrasi mematikan untuk jenis *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* terhadap logam Pb sebesar 10.000 mg/L dan Cd sebesar 400 mg/L. Hasil ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian fitoteknologi selanjutnya terhadap logam berat (Pb dan Cd) pada tumbuhan akuatik (*Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi*).

**Kata kunci :** Tumbuhan Akuatik, *Acanthus ilicifolius* (druju), *Coix lacryma-jobi* (jali), Logam Berat, Timbal (Pb), Kadmium (Cd).

Judul : **Phytomonitoring Heavy Metal Pb and Cd from *Acanthus ilicifolius* and *Coix lacryma-jobi* in Natural Habitat**

Penulis : Rony Irawanto<sup>1</sup>

Publikasi dalam : Seminar Nasional X – Penelitian Masalah Lingkungan

Tempat/Tanggal : Malang, 20 Agustus 2014

Penyelenggara : IATPI dan Fak. Teknologi Pertanian UB

**Abstrak :**

The natural habitat of *Acanthus ilicifolius* (Acanthaceae) in the downstream related to mangrove areas, and *Coix lacryma-jobi* (Poaceae) found in the upstream river. Both of aquatic plants have similar habitat in wetland areas. While the pollution increase and development followed by pollutants that discharged into the environment. The pollutants that polluting the environment and toxic are heavy metals. Heavy metal pollution is a serious attention, if absorbed and accumulate in human can be detrimental to health and cause of death. The concepts are focus on plants mechanism as a natural technology to solve environmental problems called phytotechnology. Phytotechnology can be applied to environmental monitoring. River can polluting from wastewater from agricultural, industrial and residential. So the aquatic plants possibility exposure to the heavy metal wastewater are *A. ilicifolius* (Jeruju) and *C. lacryma-jobi* (Jali). This research aims to know the concentration of heavy metals, lead (Pb) and cadmium (Cd) on *A. ilicifolius* and *C. lacryma-jobi* in their natural habitat, interesting to do. The study conducted during April-June 2014, with explorative method, sampling *A. ilicifolius* on the mangrove river at eastern coastal of Surabaya and *C. lacryma-jobi* on drainage around the Purwodadi Botanic Garden. The results showed the highest of Pb concentrations found 0.59 mg/L in *A. ilicifolius*, and 2.34 mg/L in *C. lacryma-jobi*. While Cd concentrations found in both species are much smaller and undetectable tool.

**Keywords:** Phytomonitoring, *Acanthus ilicifolius*, *Coix lacryma-jobi*, Heavy Metal, Pb and Cd.

**Judul :** Pengaruh Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*).

**Penulis :** Rony Irawanto<sup>1</sup>

**Publikasi dalam :** Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XI

**Tempat/Tanggal :** Surabaya, 3 Desember 2014

**Penyelenggara :** Teknik Lingkungan - ITS

**Abstrak :**

Pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan pembangunan mengakibatkan peningkatan aktivitas di berbagai sektor, baik sektor industri, pemukiman, pertanian, dan sektor lainnya. Semakin bertambahnya aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan seringkali menghasilkan bahan pencemar yang dapat mengganggu dan membahayakan lingkungan. Pencemaran logam berat mendapat perhatian yang serius, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kematian. Logam berat yang bersifat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan, adalah Pb (timbal) dan Cd (kadmium). Konsep yang memusatkan peran tumbuhan dalam kerangka teknologi alami untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Fitoteknologi dapat diterapkan dalam pencegahan (fitoproteksi), pemulihan (fitoremediasi), pemantauan (fitomonitoring) dan penyelidikan (fitoforensik) pencemaran lingkungan. Pendekatan fitoteknologi digunakan dalam penelitian ini, yang bertujuan mengetahui pengaruh logam berat Pb dan Cd terhadap tumbuhan Jeruju (*Acanthus ilicifolius*) dan Jali (*Coix lacryma-jobi*) secara morfologis.

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium di Teknik Lingkungan ITS. Penelitian diawali dengan perbanyakan, aklimatisasi, dan penentuan konsentrasi zat. Tahap berikutnya berupa perlakuan paparan pencemar terhadap tiga variasi yang digunakan meliputi: (1) variasi zat pencemaran (Pb dan Cd), (2) variasi jenis (tumbuhan Jeruju dan

Jali) dan (3) variasi jumlah tumbuhan dalam bak tanam (tiga dan lima individu). Parameter yang diamati berupa morfologi tumbuhan dan berat kering pada bagian tumbuhan yaitu: akar, batang dan daun. Pada *Acanthus ilicifolius* dan *Coix lacryma-jobi* secara umum mengalami penambahan tinggi baik pada tiga dan lima individu, meskipun tidak terlalu besar yang ditunjukkan dengan penurunan berat kering, karena hambatan dari paparan logam Pb dan Cd. Biomassa terbesar pada jeruju di akar, sedangkan pada jali di daun.

**Kata kunci :** Fitoteknologi, Pb (Timbal), Cd (Kadmium), *Acanthus ilicifolius* (Jeruju), *Coix lacryma-jobi* (Jali).

**Judul : Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Coix lacryma-jobi* (Jali).**

**Penulis : Rony Irawanto <sup>1</sup>, Alia Damayanti <sup>2</sup>, Bieby Voijant Tangahu <sup>3</sup>,  
Ipung Fitri Purwanti <sup>4</sup>**

**Publikasi dalam : Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam**

**Tempat/Tanggal : Surakarta, 13 Januari 2015**

**Penyelenggara : Biologi Universitas Sebelas Maret (UNS)**

**Abstrak :**

Perkembangan pembangunan menyebabkan aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan. Kegiatan ini seringkali menghasilkan bahan pencemar yang berdampak terhadap lingkungan. Salah satu pencemaran yang serius adalah logam berat, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kematian. Logam berat seperti Pb (timbal) dan Cd (kadmium) bersifat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan. Konsep yang melihat peran tumbuhan sebagai teknologi alami dalam ekosistem guna mengatasi permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Jenis *Coix lacryma-jobi* (Jali) dipilih karena dijumpai di alam pada daerah riparian di hulu sungai yang kondisi saat ini dimungkinkan tercemar oleh logam berat dari aktivitas pertanian (pupuk dan pestisida) serta aktivitas lainnya. Pendekatan fitoteknologi ini yang digunakan dalam penelitian. Penelitian bertujuan mengetahui kemampuan tumbuhan akuatik *Coix lacryma-jobi* terhadap paparan logam berat Pb dan Cd, serta konsentrasi yang terdapat pada bagian tumbuhan sebagai metode dalam fitoforensik. Penelitian dilakukan di Teknik Lingkungan ITS dari Maret sampai Desember 2014. Parameter yang diamati berupa kandungan logam berat pada media tumbuhan (pasir dan air) serta bagian tumbuhan (akar, batang dan daun), dengan variasi jumlah tiga dan lima individu. Percobaan dilakukan di greenhouse TL-ITS dengan konsentrasi paparan Pb 10.000 ppm dan Cd 400 ppm, kemudian analisis kandungan logam Pb dan Cd di laboratorium LPPM-ITS menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Coix lacryma-jobi* termasuk tumbuhan akumulator dengan nilai translokasi faktor 1,07. Konsentrasi logam Pb yang ditemukan di akar 8.197 ppm, batang 242 ppm dan daun 274 ppm. Sedangkan konsentrasi logam Cd yang ditemukan pada akar 194 ppm, batang 4 ppm dan daun 6 ppm. Sehingga fitoforensik untuk logam Pb dan Cd pada tumbuhan jali terletak di akar.

**Kata kunci :** Tumbuhan Akuatik, Logam Berat, *Coix lacryma-jobi*, Fitoteknologi.

Judul : **Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Acanthus ilicifolius* (Jeruju).**  
Penulis : Rony Irawanto <sup>1</sup>, R. Hendrian <sup>2</sup>, Sarwoko Mangkoedihardjo <sup>3</sup>  
Publikasi dalam : Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam  
Tempat/Tanggal : Surakarta, 13 Januari 2015  
Penyelenggara : Biologi Universitas Sebelas Maret (UNS)

**Abstrak :**

Perkembangan pembangunan menyebabkan aktivitas manusia di berbagai sektor kehidupan. Kegiatan ini seringkali menghasilkan bahan pencemar yang berdampak terhadap lingkungan. Salah satu pencemaran yang serius adalah logam berat, karena bila terserap dan terakumulasi dalam tubuh manusia dapat mengganggu kesehatan dan menyebabkan kematian. Logam berat seperti Pb (timbal) dan Cd (kadmium) bersifat toksik dan merupakan pencemar di semua media lingkungan. Konsep yang melihat peran tumbuhan sebagai teknologi alami dalam ekosistem guna mengatasi permasalahan lingkungan dikenal dengan istilah Fitoteknologi. Jenis *Acanthus ilicifolius* (Jeruju) dipilih karena banyak dijumpai di alam pada muara sungai yang kondisi saat ini dimungkinkan tercemar oleh logam berat dari aktivitas industri dan sebagainya. Pendekatan fitoteknologi ini yang digunakan dalam penelitian. Penelitian bertujuan mengetahui kemampuan tumbuhan akuatik *Acanthus ilicifolius* terhadap paparan logam berat Pb dan Cd, serta konsentrasi yang terdapat pada bagian tumbuhan sebagai metode dalam fitoforensik. Penelitian dilakukan di Teknik Lingkungan ITS selama November 2013 s/d Desember 2014. Parameter yang diamati berupa kandungan logam berat pada media tumbuhan (pasir dan air) serta bagian tumbuhan (akar, batang dan daun), dengan variasi jumlah tiga dan lima individu. Percobaan dilakukan di greenhouse TL-ITS dengan konsentrasi paparan Pb 10.000 ppm dan Cd 400 ppm, kemudian analisis kandungan logam Pb dan Cd di laboratorium LPPM-ITS menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Acanthus ilicifolius* termasuk tumbuhan akumulator dengan nilai translokasi faktor 1,01. Konsentrasi logam Pb yang ditemukan pada hari ke 15 pemaparan di akar 8.958 ppm, batang 41 ppm dan daun 22 ppm. Sedangkan konsentrasi logam Cd yang ditemukan pada akar 237 ppm, batang 2 ppm dan daun 1 ppm. Sehingga fitoforensik untuk logam Pb dan Cd pada tumbuhan jeruju terletak di akar.

**Kata kunci :** Tumbuhan Akuatik, Logam Berat, *Acanthus ilicifolius*, Fitoteknologi.